НИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА им. АЛЬ-ФАРАБИ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ АКАДЕМИЧЕСКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ СЕМИНАР
“ОРГАНИЗАЦИИ И ЭВОЛЮЦИИ ПРИРОДНЫХ СТРУКТУР”

ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ЖУРНАЛ
ПРОБЛЕМ ЭВОЛЮЦИИ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ

(Журнал ПЭОС)

Выпуск двадцатый первый

Том 1
(Январь-июнь)

Алматы
2019

Журнал проблем эволюции открытых систем

УДК 550.36+577.31
ББК 72.4 (2) П 78

Свидетельство о государственной регистрации **№ 4213Ж** от 12.09.03
Подписной индекс “КАЗПОЧТА” **№ 75220**

В журнале публикуются статьи по междисциплинарным исследованиям в области естественных наук. Основное направление связано с исследованием свойств открытых систем и проблемами организации и эволюции природных структур.

Журнал входит в список рекомендованных для публикации научных статей ККСОН (Комитет по контролю в сфере образования и науки) МОН РК.

Адрес офиса: Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, д.71, корпус физико-технического факультета НИИ экспериментальной и теоретической физики (НИИ ЭТФ) для Нұрғалиевой Қ.Е.
E-mail: kdungen@gmail.ru и vmsoms@rambler.ru
Сайт: http://peosjournal.org/
Печатается без редакторской и коррекционной правки
ISSN2617-7609
e-ISSN2617-7595

СОДЕРЖАНИЕ

Архипову Юрию Вячеславовичу – 70 лет

Архипов Юрий Вячеславович, родился 20 марта 1949 года в городе Семипалатинск Восточно-Казахстанской области. В 1972 году окончил физический факультет Казахского государственного университета им. С.М. Кирова, где позже поступил в очную аспирантуру при кафедре оптики и физики плазмы по специальности «Физика плазмы».

В 1983 году в г. Москве защитил кандидатскую диссертацию в Физическом институте им. П.Н. Лебедева на тему «Теоретическое исследование параметрической неустойчивости и турбулентности ионосферной плазмы» по специальности «01.04.08 – Физика плазмы». В 2003 году защитил докторскую диссертацию на тему «Термодинамика и электродинамические свойства плотной высокотемпературной плазмы» по той же специальности.

С 1991 года Архипов Ю.В. активно занимается исследовательской деятельностью в НИИЭТФ при КазНУ им.аль-Фараби, пройдя все ступени от младшего научного сотрудника до главного научного сотрудника и руководителя научных тем, финансируемых МОН РК.

Архипов Ю.В. является высококвалифицированным специалистом в области физики неидеальной плазмы и одним из высокоцитируемых за рубежом ученых Казахстана, имеет свыше 150 научных публикаций, из них более 40 в зарубежных журналах с высоким импакт-фактором. Также является автором более 10 учебно-методических пособий по общей физике и физике плазмы, которые основаны на его оригинальных лекциях для студентов, магистрантов и докторантов PhD.

Под научным руководством Архипова Ю.В. были успешно защищены более 8 кандидатских диссертаций и диссертаций PhD. Один из них Аскарулы А., получил двойной диплом доктора PhD КазНУ им. аль-Фараби и Валенсийского политехнического университета.

За время работы на физико-техническом факультете Казахского Национального университета им. аль-Фараби работал заместителем декана по учебной работе, более 15 лет заведовал кафедрой «Физики плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики», которая неоднократно занимала первые места, существенно перевыполняя показатели индикативного плана университета.

Архипов Ю.В. является членом оргкомитета ряда международных конференций, проводимых в Казахстане, членом редакционной коллегии журналов, рекомендуемых ККСОН для опубликования материалов диссертаций.В течении ряда лет являлся как членом, так и председателем диссертационного совета по защите диссертаций PhD.

В 2007 и 2012 гг. Архипов Ю.В.удостоин звания «Лучший преподаватель ВУЗа» Республики Казахстан,а в 2010 году награжден почетным знаком МОН РК «За достижения и вклад в развитие науки РК». Заслуги Архипова Ю.В. в области образования и науки отмечены в 2015 году высокойгосударственной наградой – орденом «Құрмет».

Редакция «Журнала проблем эволюции открытых систем», коллектив Научно-исследовательского института теоретической и экспериментальной физики КазНУ имени аль-Фараби, профессорско-преподавательский состав физико-технического факультета КазНУ им. аль-Фараби поздравляют профессора Архипова Юрия Вячаславовича с юбилеем и желают крепкого здоровья, творческих успехов, новых вершин и талантливых учеников!

МРНТИ 29.27.03

Ю.В. Архипов[1], А.Б. Ашикбаева[1],
А. Жумабекова[1], С.А. Сызганбаева[1], И.М. Ткаченко[2]
[1]*КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*;
[2]*Валенсийский политехнический университет, Испания*

ТОРМОЖЕНИЕ И РАЗБРОС ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПЛОТНОЙ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ

Аннотация. В данной работе рассматриваются энергетические потери и разброс потерь энергии заряженных частиц в электронной жидкости.Полученные результаты приведены в сравнении с данными, найденными другими авторами в рамках моделированияметодом молекулярной динамики [1, 2]. В настоящей работе используется метод моментов [3], который позволяет определять тормозную способность и разброс потерь энергии неидеальной плазмы, не используя разложения по малому параметру. Универсальность данного подхода позволяет использовать для расчетов различныеэффективныепотенциалы межчастичного взаимодействия.

Особенностью вычислений с использованием метода моментов является необходимость определения так называемой параметр-функции Неванлинны, входящей в расчетные соотношения. В данной статье для этой функции использовано соотношение, предложенное нами ранее в [4].

Важным достоинством данного подхода является возможность определения динамических характеристик кулоновских систем по рассчитанным статическим, которые, к примеру, могут быть найдены из решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении с помощью потенциалов указанных в работе.

Ключевые слова: однокомпонентная плазма, тормозная способность, разброс потерь энергии, метод моментов, кулоновская система, формула Неванлинны, функция потерь.

Введение

Начавшаяся в прошлом столетии научно-техническая революция многократно увеличила энергетические потребности человечества.Это заставило ученых обратиться к одному из наиболее перспективных направлений в энергетике – получению энергии с использованием реакции управляемого термоядерного синтеза, обусловленнойслиянием легких ядер с последующим выделением огромного количества энергии. Одной из задач, возникающих в связи с данной проблемой, является нагрев и сжатие плазмы. Первоначально для этого использовались мощные лазеры [5, 6], однако в последнее время стали применяться и пучки заряженных ионов [7].

Эксперименты, связанные с взаимодействием плазмы с налетающим ионным пучком, стимулировали разработку теоретических методов определения потерь энергии и разброса потерь энергиизаряженной частицы в плазменной среде, т.е. изучение, так называемой, тормозной способности плазмы и страгглинга.

Поляризационные потери

В 1930 г. Бете вывел формулу для потерь энергии быстрой частицей, предполагая, что атомы среды ведут себя как квантово-механические осцилляторы [8]. Позже, Ларкин [9] показал, что в случае, когда быстрые ионы пронизывают электронный газ, применима аналогичная формула, но с заменой средней частоты возбуждения атомов на плазменную частоту ω_p:

$$-\frac{dE}{dx} \underset{\upsilon \gg \upsilon_F}{\simeq} \left(\frac{Z_p e \omega_p}{\upsilon}\right)^2 \ln \frac{2m\upsilon^2}{\hbar\omega_p}, \qquad (1)$$

где $Z_p e$ и υ - заряд и скорость налетающей частицы.

В пренебрежении потерями на столкновения и ионизацию, для расчета энергетических потерь быстрой частицы, проходящей сквозь кулоновскую систему, используется поляризационный механизм. В 1959 году Линхард получил выражение, связывающее потери энергии за счет поляризации с диэлектрической функцией среды [10]:

$$\frac{dE}{dx}=\frac{2(Z_pe)^2}{\pi\upsilon^2}\int_0^\infty\frac{dk}{k}\int_0^{k\upsilon}\omega\,\mathrm{Im}\,\varepsilon^{-1}(k,\omega)d\omega. \quad (2)$$

Данное соотношение дает связь поляризационных потерь энергии движущейся заряженной частицы в плазме с продольной диэлектрической проницаемостью среды $\varepsilon(k,\omega)$. Из его вида можно заключить, что потери энергии пробного заряда в плазме не зависят от массы тормозящейся частицы, а зависят только от ее заряда Z_pe и скорости υ .

Формула (2) для вычисления поляризационных потерь энергии пробного заряда, движущегося в плазме, справедлива в одночастичном приближении, при котором торможение ионного пучка представляется как торможение единичных, не взаимодействующих между собой ионов. Такое приближение справедливо для плотностей ионного потока много меньших плотности среды, что выполняется для большинства современных экспериментов.

В данной работе тормозная способность (2) однокомпонентной водородной кулоновской системы исследуется с использованием диэлектрической функции найденной методом моментов [3].

Разброс потерь энергии

Процесс поляризационного торможения быстрых частицподвержен статистическим флуктуациям. В результате одинаковые частицы, имевшие одну и ту же начальную скорость, не будут обладать в точности одинаковой энергией после прохождения в однородной среде слоя определённой толщины. Численная характеристика этого явления называется страгглингом, который рассчитывается по следующей формуле [11]:

$$\Omega_0^2=\frac{2Z_p^2e^2\hbar}{\pi\upsilon^2}\int_0^\infty\frac{dk}{k}\int_0^{k\upsilon}d\omega\omega^2\,\mathrm{Im}\left(-\frac{1}{\varepsilon(k,\omega)}\right)\coth\frac{\beta\hbar\omega}{2}. (3)$$

Параметры плазмы

В качестве потенциала межчастичного потенциала взаимодействия использован потенциал Кулона

$$\varphi(r)=\frac{e^2}{r},$$

а для описания состояния плазмы используются параметры связи и плотности

$$\Gamma=\frac{e^2}{ak_БT},\qquad r_s=\frac{a}{a_B}.$$

Здесь введен радиус Вигнера-Зейтца

$$a=\sqrt[3]{3/4\pi n},$$

где e – заряд электрона, $k_Б$ – постоянная Больцмана, T – температура, a_B - радиус Бора, n – концентрация частиц.

Метод моментов

Для исследования свойств неидеальной плазмы с параметрами связи и вырождения порядка и более единицы следует использовать непертурбативный метод моментов [3], не требующий наличия малого параметра.

Использование данного метода позволяет определить диэлектрические свойства кулоновской системы, используя несколько первых степенных моментов функции потерь,

$$L(k,\omega)=-\frac{1}{\omega}\mathrm{Im}\frac{1}{\varepsilon(\omega,k)}, \qquad (4)$$

которые можно рассчитать, зная потенциал межчастичного взаимодействия и статические структурные факторы системы, $S(k)$. Последние могут быть вычислены из решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении (ГЦП) [12].

Запишем формулу Неванлинны, определяющую диэлектрические свойства среды, в виде [3]:

$$\frac{1}{\varepsilon(k,\omega)}=1+\frac{\omega_p^2(\omega+Q(k))}{\omega(\omega^2-\omega_2^2(k))+Q(k)(\omega^2+\omega_1^2(k))}. (5)$$

Здесь $Q(k)=\frac{i}{\sqrt{2}}\frac{\omega_2^2(k)}{\omega_1(k)}$ – функция-параметр Неванлинны, полученная в [4].

Частоты $\omega_1(k)$ и $\omega_2(k)$ в уравнении (5) определяются соответствующими соотношениями:

$$\omega_2^2 = \omega_p^2(1 + K(k) + U(k))$$

$$\omega_1^2(k) = \frac{\omega_2^2(k)}{1 + \frac{m\beta\omega_2^2(k)}{k^2} S(k) - \frac{\beta\hbar\omega_2(k)}{2} \coth\frac{\beta\hbar\omega_2(k)}{2}},$$

где

$$K(k) = \frac{\langle \upsilon_{th} \rangle^2 k^2}{\omega_p^2} + \left(\frac{\hbar}{2m}\right)^2 \frac{k^2}{\omega_p^2},$$

$$U(k) = \left(1/2\pi^2 n\right) \int_0^\infty p^2 \left[S(p) - 1\right] f(p,k)\, dp,$$

а $\langle \upsilon_{th} \rangle^2$ – квадрат средней тепловой скорости электронов, m – их масса, $\hbar$ – постоянная Планка, а ω_p^2 – квадрат плазменной частоты,

$$f(p,k) = 5/12 - (p^2/4k^2) + \frac{(k^2 - p^2)}{8pk^3} \ln\left|\frac{p+k}{p-k}\right|.$$

Интерполяционный метод моментов

Частоты $\omega_1^2(k)$ и$\omega_2^2(k)$ можно вычислить по несколько упрощенным формулам [13]:

$$\omega_1^2(k) = \omega_p^2\left(1 + k^2\kappa^{-2} + k^4\chi^{-4}\right),$$

$$\kappa = \sqrt{6\Gamma},\ \chi = \left(12 r_s\right)^{1/4},$$

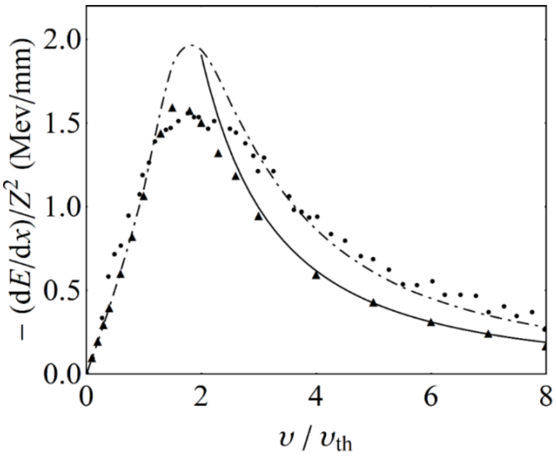
$$\omega_2^2(k) = \omega_p^2\left(1 + \frac{\langle \upsilon_{th} \rangle^2 k^2}{\omega_p^2} + \left(\frac{\hbar}{2m}\right)^2 \frac{k^2}{\omega_p^2}\right) -$$

$$-\frac{4k^2}{\omega_p^2 15} \frac{\Gamma^{\frac{3}{2}}}{\beta \mathrm{m}} \left(\frac{-0.9052}{\sqrt{0.6322 + \Gamma}} + \frac{0.27243}{1 + \Gamma}\right).$$

В результате мы получаем в рамках интерполяционного метода моментов. Численные коэффициенты во второй частоте могут быть посчитаны как в работе [14].

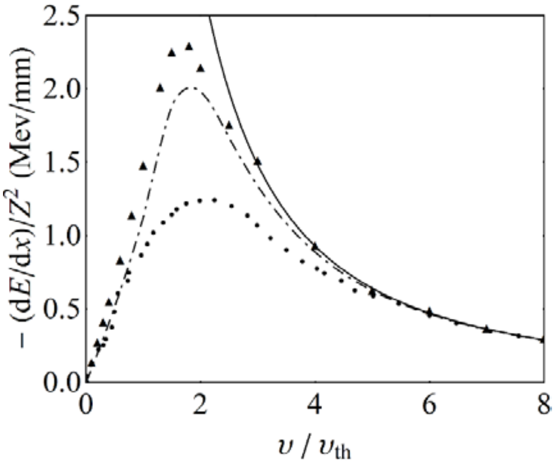
Полученные результаты.

На рисунках 1-4 представлены результаты расчетов поляризационных потерь тяжелых заряженных частиц в однокомпонентной плазме, где результаты расчетов представлены в виде: треугольники – метод моментов, тире-точка – интерполяционный метод моментов, кружочки – на рисунках 1-2 данные компьютерного моделированияработы [1], а на рисунках 3-4 результаты работы [2], сплошная линия – асимптотика Бете-Ларкина (1).



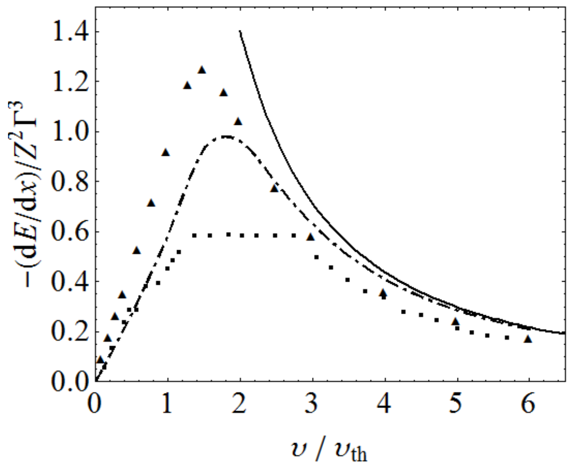
$k_Б T = 10$ эВ, $n = 10^{21}$см$^{-3}$, $Z = 1, Z\Gamma^{3/2} = 0.11$.

Рисунок 1 – Тормозная способность плазмы



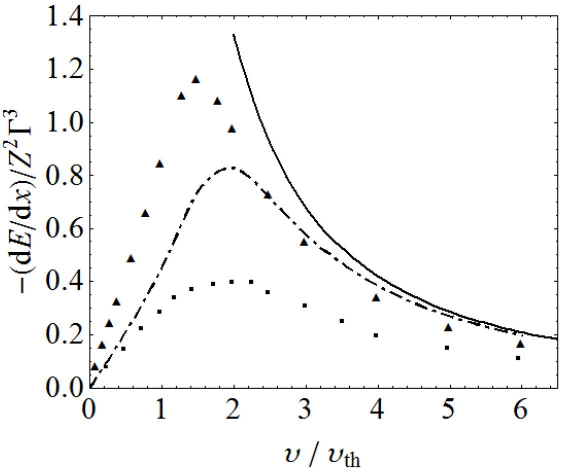
$k_Б T = 10$ эВ, $n = 10^{21}$см$^{-3}$, $Z = 2, Z\Gamma^{3/2} = 0.23$

Рисунок 2 – Тормозная способность плазмы



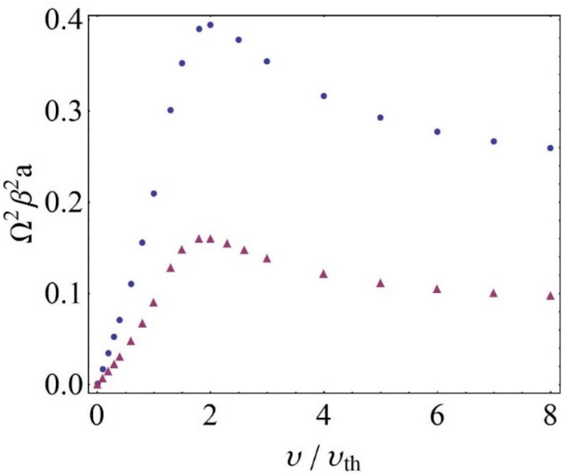
$Z = 5, n = 1.1 \cdot 10^{20}$см$^{-3}$, $T = 1.6 \cdot 10^5 K$ ($Z\Gamma^{3/2}$=0.12)

Рисунок 3 – Тормозная способность плазмы



$Z = 10, n = 1.4 \cdot 10^{20}\text{см}^{-3}$,
$T = 1.3 \cdot 10^5 K$($Z\Gamma^{3/2}$=0.354).
Рисунок 4 – Тормозная способность плазмы

На рисунке 5 представлены исследованияфлуктуации энергии для той же электронной жидкости что и энергетические потери, полученные на основе метода моментов.



Кружочки - $k_Б T = 10$ эВ, $n = 10^{21}\text{см}^{-3}$,
$Z = 2, Z\Gamma^{3/2}$= 0.23,
Треугольники - $k_Б T = 10$ эВ, $n = 10^{21}\text{см}^{-3}$,
$Z = 1, Z\Gamma^{3/2}$= 0.11
Рисунок 5 – График разброса потерь энергии

Из представленных выше графиков, описывающих тормозную способность однокомпонентной плазмы в широком интервале параметра связи, можно сделать вывод о согласии результатов, найденных методом моментов и интерполяционным методом моментов с результатами численных экспериментов [1, 2].Результаты исследования страгглинга, представленные на рисунке 5, качественно согласуются с данными других авторов [15].

Заключение

Полученные результаты по тормозной способности ОКП как в рамках метода моментов, так и интерполяционного метода моментов, несмотря на простоту последнего, хорошо согласуются с данными численных экспериментов [1,2]. В частности, положение пика кривой тормозной способности вблизи удвоенной тепловой скорости электронов мишени (Рис 1-4) согласуется с результатами других авторов, однако оценка максимума величины тормозной способности остаётся пока непредсказуемой теоретически.

В работе отмечено качественное согласие найденной величины разброса потерь энергии с результатами [15].

Благодарности. Работа поддержана грантом Министерства образования и науки Республики Казахстан № AP05132333.

Список литературы:

1. G. Zwicknagel Theory and simulation of heavy ion stopping in plasma, Laser and Particle Beams (2009), 27, 399–413.
2. D. O. Gericke, M. Schlanges, *Phys. Rev. E***1999**, *60*, 904.
3. Tkachenko I.M., Arkhipov Yu.V., Askaruly A. The method of moments and its applications in plasma physics. – Germany: Lap Lambert Academic Publishing, 2012. – 125 p.
4. Yu. V. Arkhipov, A. Askaruly, A. E. Davletov, D.Yu. Dubovtsev, Z. Donkó, P. Hartmann, I. Korolov, L. Conde, I. M. Tkachenko Direct Determination of Dynamic Properties of Coulomb and Yukawa Classical One-Component Plasmas // Phys. Rev. Lett. – 2017. – Vol. 119 – P. 045001.
5. Bruecker K.A., Jorna S. Laser-driven fusion // Rev. Mod. Phys. – 1974. - Vol.46. - P.325.
6. More R.M. in Applied atomic collision physics, edited by Massey H.S.W., McDaniel E.W., Bederson B. - New York:Academic, 1984. - Vol. 2.
7. Дюдерштадт Дж., Мозес Г., Инерциальный термоядерный синтез / пер. с англ.,

под ред. Л.В. Белова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 304 с.
8. Bethe H. Zur Theorie des Durchgangsschneller Korpuskularstrahlendurch Materie [Theory of the Passage of Fast Corpuscular Rays Through Matter] // Ann. Physik – 1930. – Vol. 397. - P. 325-400.
9. Ларкин А.И. Прохождение частиц через плазму // ЖЭТФ. - 1959. – Т. 37. - С. 264.
10. Arista N. R. Low-velocity stopping power of semidegenerate quantum plasmas // J. Phys. C: SolidStatePhysics. – 1985. – Vol. 18. – P. 5127.
11. A. Bret and C.Deutsch Straggling of an extended charge distribution in a partially degenerate plasma // Physical Rewiew E V.48, N.4. p. 2989-2993, 1993.
12. Arkhipov Yu.V., Ashikbayeva A.B., Askaruly A., Voronkov V.V., Davletov A. E., Tkachenko I.M. Static structural properties of nonideal plasmas// Международная научная конференция «Актуальные проблемы современной физики». – Алматы, 2013. – С. 171.
13. ArkhipovYu.V., AshikbayevaA.B., AskarulyA., DubovtsevD.Yu., SyzganbayevaS.A. andTkachenkoI.M. Optical properties of dense coulomb plasmas // International Journal of Mathematics and Physics. – 2017. - Vol. 8, N. 1, P.27-27.
14. G. Chabrier, A. Y. Potekhin, Phys. Rev. E 58 (1998) 4941
15. Manuel D. Barriga-Carrasco Target electron collision effects on energy loss straggling of protons in an electron gas at any degeneracy // Physics of Plasmas 15, 033103 (2008).

Принято к печати 15.04.2019

Ю.В. Архипов[1], А.Б. Ашикбаева[1], А. Жумабекова[1], С.А. Сызганбаева[1], И.М. Ткаченко[2]

КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан (1);

Валенсийский политехнический университет, Испания (2)

ТОРМОЖЕНИЕ И РАЗБРОС ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПЛОТНОЙ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ

Аннотация. В данной работе рассматриваются энергетические потери и разброс потерь энергии заряженных частиц в электронной жидкости. Полученные результаты приведены в сравнении с данными, найденными другими авторами в рамках моделирования методом молекулярной динамики [1, 2]. В настоящей работе используется метод моментов [3], который позволяет определять тормозную способность и разброс потерь энергии неидеальной плазмы, не используя разложения по малому параметру. Универсальность данного подхода позволяет использовать для расчетов различные эффективные потенциалы межчастичного взаимодействия.

Особенностью вычислений с использованием метода моментов является необходимость определения так называемой параметр-функции Неванлинны, входящей в расчетные соотношения. В данной статье для этой функции использовано соотношение, предложенное нами ранее в [4].

Важным достоинством данного подхода является возможность определения динамических характеристик кулоновских систем по рассчитанным статическим, которые, к примеру, могут быть найдены из решения уравнения Орнштейна-Цернике в гиперцепном приближении с помощью потенциалов указанных в работе.

Ключевые слова: однокомпонентная плазма, тормозная способность, разброс потерь энергии, метод моментов, кулоновская система, формула Неванлинны, функция потерь.

АрхиповЮ.В.[1], АшықбаеваӘ.Б.[1], Жұмабекова А.[1], Сызғанбаева С.А.[1], Ткаченко И.М.[2]

[1]*Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан;*
[2]*Валенсия политехникалық университеті, Испания*

БІРКОМПОНЕНТТІ ТЫҒЫЗ ПЛАЗМАДА ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ТЕЖЕЛУІ ЖӘНЕ ШЫҒЫНДАЛУ ЭНЕРГИЯСЫНЫҢ ШАШЫРАУЫ

Аннотация. Бұл жұмыста электронды сұйықтықтағы зарядталған бөлшектердің энергияның шығындалуы және энергия шығындарының шашырауы қарастырылады. Алынған нәтижелер басқа деректермен, яғни молекулярлық динамика әдісімен модельдеу шеңберінде басқа авторлардың нәтижелерімен салыстырылған [1,2]. Бұл жұмыста моменттер әдісі [3] қолданылады, идеал емес плазманың энергия шығындарының шашырауы мен тежеуші қабілетін анықтауға мүмкіндік береді, кіші параметрлер бойынша жіктелуін қолданбай. Осы әдістің жан-жақтылығы өзара әрекеттесетін бөлшектер арасындағы эффективті потенциалды есептеулерді қолдануға мүмкіндік береді. Моменттер әдісін қолданып есептеудің ерекшелігі есептеу қатынасына кіретін Неванлин функция параметрінің анықтамасын беру қажеттілігін туғызады. Бұл мақалада осы функция үшін бұрын [4] те жасалған қатынас қолданылды.

Бұл әдістің маңызды артықшылығы статикалық есептеулер арқылы кулондық жүйелердің динамикалық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік беретіндігі, мысалы, жұмыста көрсетілген потенциалдардың көмегімен гиперцепті жуықтаудағы Орнштейн-Церник теңдеуінің шешімі табылуы мүмкін.

Түйін сөздер: бір компонентті плазма, тежелу қабілеті, энергия шығынының шашырауы, моменттер әдісі, кулондық жүйе, Неванлин формуласы, шығындалу функциясы.

Arkhipov Yu.V.[1], Ashikbayeva A.B.[1],
Zhumabekova A.[1], Syzganbayeva S.A.[1], Tkachenko I.M.[2]

[1]*Al-Farabi Kazakh National University, IETP, Almaty, Kazakhstan;*
[2]*Polytechnic university of Valencia, Valencia, Spain*

STOPPING POWER AND THE SPREAD OF THE ENERGY LOSS OF CHARGED PARTICLES IN A DENSE ONE-COMPONENT PLASMA

Abstract. In this paper we consider the energy loss and the spread of the energy loss of charged particles in the electron liquid. The obtained results are compared with the data found by other authors in the framework of molecular dynamics modeling [1, 2]. In this paper, we use the method of moments [3], which allows to determine the stopping power and the spread of energy losses of the non-ideal plasma, without using the expansion in the small parameter. The universality of this approach is to use different effective potentials of interparticle interaction for calculations.

The peculiarity of calculations using the method of moments is the need to determine the so-called parameter-function Nevanlinna included in the calculated ratio. In this article for this function the relation offered by us earlier in [4].

An important advantage of this approach is the ability to determine the dynamic characteristics of Coulomb systems calculated by static characteristic, which can be found, for example, from the solution of the Ornstein-Zernike equation in the hyperchain approximation using the potentials specified in the work.

Keywords: one-component plasma, stopping power, range energy loss, method of moments, the Coulomb system, the Nevanlinna formula, loss function.

IRSTI 29.27.01, 29.27.31

Yu.V. Arkhipov [1], A. Askaruly [1], A.B. Ashikbayeva [1],
D. Yu. Dubovtsev [1], S.A. Syzganbayeva[1], I.M. Tkachenko[2]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, IETP, Almaty, Kazakhstan;
[2]Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain

DYNAMICAL PROPERTIES OF DENSE ONE-COMPONENT PLASMAS WITHIN THE METHOD OF MOMENTS INTERPOLATION MODEL

Abstract. In this paper we present the results of investigation of dynamic characteristics of dense one-component plasmas. In order to determine the dynamic structure factors (DSF) of such systems, the interpolation self-consistent method of moments is employed, within which the frequency moments are calculated as interpolations of the asymptotic relations for the exact moments. The advantage of this method is the possibility of using approved fitting ratios for internal energy, which speeds up the computations. The obtained results, namely, the position, the height of the DSF are in a good agreement with the computer modelling data in a broad range of variation of the system parameters. Therefore, the conclusion is made that the interpolation self-consistent moment method can be used to calculate dynamic structural factors and other dynamic characteristics of a dense nonideal plasma.

Knowledge of DSF, in particular, allows calculating the dispersion of plasma waves, their dissipation, as well as diagnosing the parameters of the medium under consideration.

Keywords: dense plasma, method of moments, dynamic properties.

Introduction

Dense one-component plasmas are good model systems possessing basic properties of the working bodies of future inertial-fusion devices. Contemporary methods of diagnostics of such systems require knowledge of dynamic characteristics of these Coulomb, though classical, systems.

Recent computational developments [1] permit to describe their static correlations in a quite reliable way. This cannot be said about the dynamic properties. On the other hand, the self-consistent approach based on the non-canonical solutions of the Hamburger moment problem [2] facilitates a direct relation between the dynamic and static characteristics of the above non-perturbative systems under the extreme inertial-fusion conditions.

Here, the results of the simplified interpolation version of the moment approach with respect to the OCP dynamic properties are compared to the simulation data of [3]. Thus, the robustness of the self-consistent method based on sum rules and other exact relations, see [4, 5] and references therein, is demonstrated.

The interpolation self-consistent method of moments.

Consider the classical one-component system, which is characterized by a coupling parameter:

$$\Gamma = \frac{\beta(Ze)^2}{a}, \tag{1}$$

Here β^{-1} stands for the temperature in energy units, Ze designates the ion charge, and $a = (3/4\pi n)^{1/3}$ is the Wigner-Seitz radius with n being the number density of charged particles.

Plasma is considered to be strongly-coupled if $\Gamma > 1$ and is ideal for $\Gamma \ll 1$. The upper limit of the coupling parameter is determined by the Wigner crystallization.

The interparticle interaction is described by the Coulomb potential:

$$\varphi(r) = \frac{(Ze)^2}{r}, \tag{2}$$

The central characteristic of dynamic properties of plasmas is the dynamic structure factor (DSF) $S(k,\omega)$, a positive frequency function, which is associated with the dielectric function $\epsilon(k,\omega)$ (via the classical version of the fluctuation-dissipation theorem):

$$-\frac{Im\,\epsilon^{-1}(k,\omega)}{\omega} = \frac{(2\pi Ze)^2\beta}{k^2} S(k,\omega). \tag{4}$$

Here, the wavenumber k (the system under consideration is presumed to be uniform) is a parameter.

Consider five convergent sum rules which are frequency power moments of the system DSF,

$$S_v(k) = \frac{1}{n}\int_{-\infty}^{\infty} \omega^v S(k,\omega)d\omega,$$
$$v = 0,1,2,3,4. \qquad (5)$$

All odd-order moments vanish since the DSF is an even function of frequency in a statistically classical system.

It is well known [6] that the analytic prolongation of the positive function of frequency, DSF, onto the complex-frequency upper half-plane $Imz > 0$is constructed by means of the Cauchy integral formula,

$$S(k,z) = \frac{1}{n}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{S(k,\omega)}{\omega - z}d\omega; \quad (6)$$

it admits the asymptotic expansion:

$$S(k,z) \cong -\frac{S_0(k)}{z} - \frac{S_2(k)}{z^2} - \frac{S_4(k)}{z^5} -$$
$$-0\left(\frac{1}{z^5}\right), \quad Imz \geq 0. \quad (7)$$

The zero-order moment is, obviously, the static structure factor SSF, $S_0(k) = S(k)$, while the second moment is equivalent to the f-sum rule,

$$S_2(k) = \omega_p^2\left(\frac{k^2}{k_D^2}\right) = \omega_p^2\left(\frac{q^2}{3\Gamma}\right), \qquad (8)$$

and the fourth moment equals

$$S_4(k) = \omega_p^2 S_2(k)\left(1 + \frac{3k^2}{k_D^2} + U(k)\right),$$
$$= \omega_p^2 S_2(q)\left(1 + \frac{q^2}{\Gamma} + U(q)\right). \quad (9)$$

Here $q = ka$, $\omega_p = \sqrt{4\pi n(Ze)^2/m}$ refers to the plasma frequency, and $k_D = \sqrt{4\pi n(Ze)^2\beta}$ is the Debye wavelength with$m$ being the mass of the particles.

The contribution$U(k)$ in (9) is directly related to the interaction between particles. In 1998, the authors of [7] obtained the interpolation expression for this contribution based on the hypernetted-chain approximation:

$$U(k) = -\frac{4\,k^2}{15}\frac{\Gamma^{\frac{3}{2}}}{\beta\ \mathrm{m}}\left(\frac{-0.9052}{\sqrt{0.6322+\Gamma}} +.\right.$$
$$\left.+\frac{0.27243}{1+\Gamma}\right) \qquad (10)$$

Collecting all above expressions together, the characteristic frequencies [4], needed in the following, are written in the following form:

$$\omega_1^2 = \omega_1^2(k) =$$
$$= \omega_p^2\left(1 + k^2k_D^{-2} + k^4k_q^{-4}\right), (11)$$

$$\omega_2^2 = \omega_2^2(k) = \omega_p^2(1 + \frac{3\,F_{\frac{3}{2}}(\eta)}{\omega_p^2 m\,\beta\,\theta^{-3/2}}k^2$$
$$+\left(\frac{\hbar}{2m}\right)^2\frac{k^4}{\omega_p^2} -$$
$$-\frac{4\,k^2}{\omega_p^2\,15}\frac{\Gamma^{\frac{3}{2}}}{\beta\ \mathrm{m}}\left(\frac{-0.9052}{\sqrt{0.6322+\Gamma}}\right.$$
$$\left.+\frac{0.27243}{1+\Gamma}\right)). (12)$$

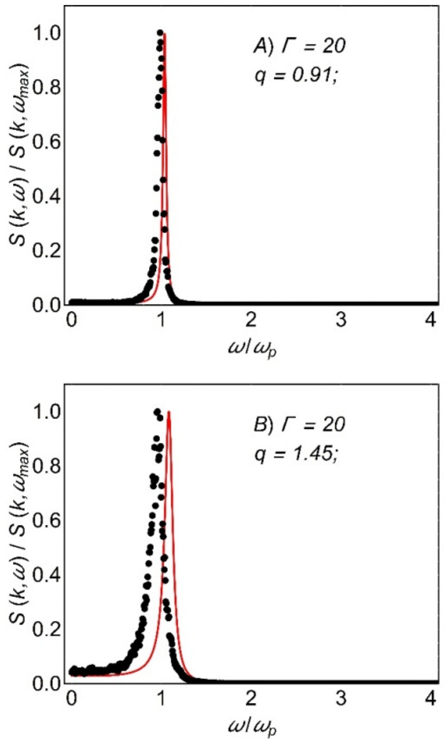
Thecharacteristic frequencies determine the plasma inverse dielectric function(IDF) and, finally, the system dynamic characteristics. Indeed, using Nevanlinna's formula [8] one obtains for the IDF the linear-fractional transformation of the function of the Nevanlinna class $Q(k,z)$:

$$\epsilon^{-1}(k,z) =$$
$$1 + \frac{\omega_p^2(Q(k,z)+z)}{z\left(z^2 - \omega_2^2(k)\right) + Q(k,z)(z^2 - \omega_1^2(k))}. (8)$$

Both the IDF and the Nevanlinna parameter function (NPF) $Q(k,z)$ are analytic in the upper half-plane Im$z > 0$and havethere positive imaginary parts, and, in addition, the NPF satisfies the limiting condition $lim_{z\to\infty}\frac{Q(k,z)}{z} = 0$ which guarantees the fulfillment of the moment conditions (5) for any correct NPFD. Note that the Nevanlinna function $Q(k,z)$is modelled here, like in [8], in the static approximation with $Q(k,z) = Q(k,0) = ih(k),\ \ h(k) > 0$.

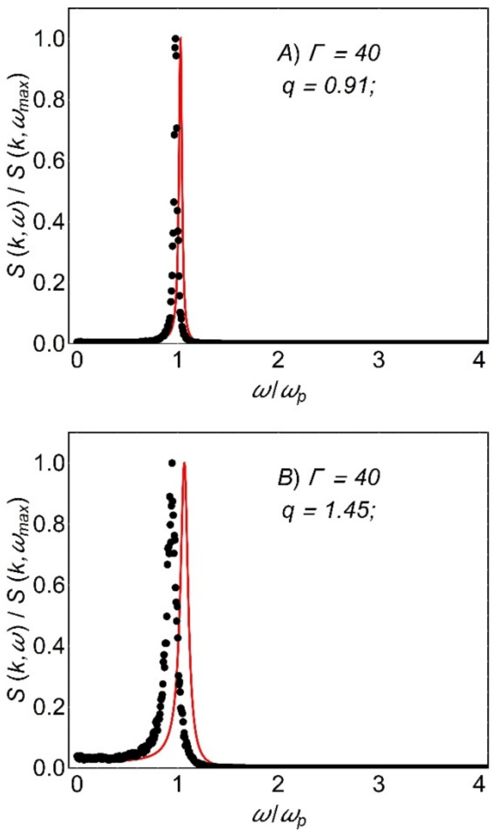
Results.

The numerical results on the dynamic structure factor are compared to the simulation data of [3] and are summarized in Figures 1-2. In all figures the squares correspond to the data of [3] with $q = ka$being the dimensionless wavenumber.



A) *q=0.91*andB) *q = 1.45.*

Figure 1 – The OCP normalized dynamic structure factor (red lines) in comparison with the simulation data of [3] (points) at Γ=20



A) *q=0.91*andB) *q = 1.45.*

Figure 2 – The OCP normalized dynamic structure factor (red lines) in comparison with the simulation dataof [3] (points) atΓ=40

Conclusions

The reliability and robustness of the self-consistent moment approach is demonstrated by comparing the results obtained for the OCP dynamic structure factors with the simulation data.No adjustment to the latter is employed Using the obtained dynamic structural factors, one can determine both the dispersion and attenuation of plasma waves in the plasma under consideration. Such an outcome can be used in dense plasma diagnostics.

References:

1.T. Dornheim, S. Groth, M. Bonitz, Phys. Rev. Lett, 121, 255001 (2018); T. Dornheim, S. Groth, M. Bonitz, Phys. Rep. 744, 1 (2018).

2. I. M. Tkachenko, Y. V. Arkhipov, A. Askaruly, The Method of Moments and its Applications in Plasma Physics, Lambert, Saarbrücken(2012).

3. G. J. Kalman, S. Kyrkos, K. I. Golden, P. Hartmann, and Z. Donko, Contrib. Plasma Phys. 52, 219 (2012); Europhys. Lett. 90, 55002 (2010); V. B. Bobrov, S. A. Trigger, and D. I. Litinski, arXiv:1407.6184.

4. V. M. Adamyan and I. M. Tkachenko, *Dielectric Conductivity of Nonideal Plasmas*, Lectures on Physics of Nonideal Plasmas: Part I (Odessa State University, Odessa, 1988) in Russian; V. M. Adamyan and I. M. Tkachenko, Contrib. Plasma Phys. 43, 252 (2003).

5. S. V. Adamjan and I. M. Tkachenko, Ukr. J. Phys. 36, 1336 (1991)

6. N.I. Akhiezer, The classical moment problem and some related questions in analysis, Hafner Publishing Company, N.Y. (1965).

7. G. Chabrier, A. Y. Potekhin, *Phys.Rev. E* 1998, *58*, 4941-4949.

8. Yu. V. Arkhipov et al., *Phys.Rev.Lett.* 2017, *119*, 045001.

Acknowledgements: Work supported by the Republic of Kazakhstan Ministry of Education and Science grants AP05132333

Accepted to print at 17.04.2019

Ю.В. Архипов [1], Ә. Асқарұлы[1], Ә.Б. Ашықбаева[1],

Д.Ю. Дубовцев [1], С.А. Сызғанбаева [1], И.М. Ткаченко [2]
[1]*Аль-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан;*
[2]*Валенсия политехникалық университеті, Испания*

ТЫҒЫЗ БІР КОМПОНЕТТІ ПЛАЗМАНЫҢМОМЕНТ ӘДІСІНІҢ ИНТЕРПОЛЯЦИЯЛЫҚ МОДЕЛІ ШЕҢБЕРІНДЕ ҚАРАСТЫРЫЛҒАН ДИНАМИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Аннотация. Осы жұмыста тығыз біз бір компонентті плазманың динамикалық сипаттамаларын зерттеу нәтижелерін ұсынамыз. Мұндай жүйелердің динамикалық құрылымдық факторларын (ДҚФ) анықтау үшін интерполяциондық өзіндік келісілген моменттер әдісі қолданылады, оның шеңберінде жиіліктік моменттер нақты моменттер үшін асимптотикалық арақатынастың интерполяциясы ретінде есептеледі. Бұл әдістің артықшылығы ішкі энергия үшін бекітілген тарап арақатынасын пайдалану мүмкіндігі болып табылады, бұл есептеулерді тездетеді. Алынған нәтижелер, атап айтқанда, ДҚФ биіктігі жүйе параметрлерінің кең диапазонында компьютерлік модельдеу деректерімен жақсы үйлеседі. Сондықтан интерполяциялық өзін-өзі келісілген жедел әдіс динамикалық құрылымдық факторларды және тығыз емес плазманың басқа да динамикалық сипаттамаларын есептеу үшін пайдаланылуы мүмкін деген қорытынды жасалды.

ДҚФ білу, атап айтқанда, плазмалық толқындардың дисперсиясын, олардың диссипациясын есептеуге, сондай-ақ қарастырылатын ортаның параметрлерін диагностикалауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: тығыз плазма, момент әдісі, динамикалық қасиеттері.

Ю.В. Архипов [1], Ә. Асқарұлы[1], Ә.Б. Ашықбаева[1],
Д.Ю. Дубовцев [1], С.А. Сызғанбаева [1], И.М. Ткаченко [2]
[1]*КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;*
[2]*Валенсийский политехнический университет, Испания*

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНОЙ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЫ В РАМКАХ ИНТЕРПОЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ МЕТОДА МОМЕНТОВ

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследования динамических характеристик плотной однокомпонентной плазмы. Для определения динамических структурных факторов (ДСФ) таких систем используется интерполяционный самосогласованный метод моментов, в рамках которого частотные моменты вычисляются как интерполяции асимптотических соотношений для точных моментов. Преимуществом данного метода является возможность использования утвержденных сторона соотношения для внутренней энергии, что ускоряет вычисления. Полученные результаты, а именно положение, высота ДСФ хорошо согласуются с данными компьютерного моделирования в широком диапазоне изменения параметров системы. Поэтому сделан вывод, что интерполяционный самосогласованный моментный метод может быть использован для расчета динамических структурных факторов и других динамических характеристик плотной неидеальной плазмы.

Знание DSF, в частности, позволяет рассчитывать дисперсию плазменных волн, их диссипацию, а также диагностировать параметры рассматриваемой среды.

Ключевые слова: плотная плазма, метод моментов, динамические свойства.

Yu.V. Arkhipov [1], A. Askaruly [1], A.B. Ashikbayeva [1],

D. Yu. Dubovtsev [1], S.A. Syzganbayeva[1], I.M. Tkachenko[2]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, IETP, Almaty, Kazakhstan;
[2]Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain

DYNAMICAL PROPERTIES OF DENSE ONE-COMPONENT PLASMAS WITHIN THE METHOD OF MOMENTS INTERPOLATION MODEL

Abstract. In this paper we present the results of investigation of dynamic characteristics of dense one-component plasmas. In order to determine the dynamic structure factors (DSF) of such systems, the interpolation self-consistent method of moments is employed, within which the frequency moments are calculated as interpolations of the asymptotic relations for the exact moments. The advantage of this method is the possibility of using approved fitting ratios for internal energy, which speeds up the computations. The obtained results, namely, the position, the height of the DSF are in a good agreement with the computer modelling data in a broad range of variation of the system parameters. Therefore, the conclusion is made that the interpolation self-consistent moment method can be used to calculate dynamic structural factors and other dynamic characteristics of a dense non-ideal plasma.

Knowledge of DSF, in particular, allows calculating the dispersion of plasma waves, their dissipation, as well as diagnosing the parameters of the medium under consideration.

Keywords: dense plasma, method of moments, dynamic properties

МРНТИ 27.19.17; 27.19.19; 27.35.55; 29.01.07; 29.01.11; 29.03.77

В.В. Проняев
ООО «Цвет», 394028, г. Воронеж, Россия
E-mail: **orion22@box.vsi.ru**

К ЦЕЛОСТНОЙ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТИНЕ МИРА ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С Д-ЭНТРОПИЕЙ И ОТКРЫТЫМИ НЕРАВНОВЕСНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ (ОНДС)

Аннотация. В данной статье, которая носит междисциплинарный характер, с отчасти системным подходом, в ответе на вопросы относящиеся к иерархической согласованности открытых неравновесных динамических систем *(ОНДС***)**, рассматривается известная М-теория с привлечением математического аппарата — спектральной последовательности Адамса с её е-инвариантами и др., а также Конформной Циклической Космологии (КЦК) Р. Пенроуза на основе законов подобия. Попутно затрагиваются известные математические задачи тысячелетия: гипотезы А. Пуанкаре (доказанная) и У. Ходжа (пока недоказанная) и др., с задействованием основных положений *Д-энтропии*. Цель статьи — показать целостность физико-математической «картины» мира в её постоянном эволюционировании и «взаимопроникновении», из которой следует уже как вывод, что *Д-энтропия с ОНДС* (с позиции детерминизма) занимают одно из центральных мест наряду с другими областями знаний, для дальнейшего познания этой эволюционной «картины» нашего Мироздания, начиная с субстанции предшествующей «Большому Взрыву» с помощью «коррелирующих инструментариев» из различных физико-математических областей знаний**.**

Ключевые слова: Д-энтропия, энергия, инструментарий, баланс, измерения.

Введение

В статье [1], в рамках вопросов о путях развития эволюционной картины мира, был поставлен интересный вопрос: «есть ли обратный путь, позволяющий от знаний свойств и законов, определяющих верхнее иерархическое звено, приходить к законам, определяющих свойства динамики на нижней ступени?». В этом верхнем иерархическом звене однозначно есть определённое место(не менее важное место чем другие) измерениям в нашем Мироздании, в смысле их количеству, с которыми вместе и происходит развитие этой эволюционной картины мира. Здесь в статье, носящий междисциплинарный, а также научно-методический характер, отчасти с системным подходом, постараемся исходя из известных теорий на этот счёт, используя например известные наработки в математических науках, а также в исследовании Д-энтропии в статье [2], несколько приблизить к решению вышепоставленный вопрос. В статье, попутно, будет даваться необходимый материал из соответствующих областей знаний в более простой форме, как вводящие читателя в курс дела, т. к. читатель может быть незнаком с разделами математики представленными здесь.

Но вначале, чтобы показать целостность физико-математической «картины» мира — её универсальность, а именно на основе законов подобия, с привлечением такого «инструментария» как Д-энтропия, исследуем (с этой позиции) известные математические задачи тысячелетия — гипотеза А. Пуанкаре (задача уже решена) и гипотеза У. Ходжа (задача пока не решена) и др. *Об **ОНДС** будет сказано позже по ходу изложения материала.*

Заметим, что ***Д-энтропия*** обладает большой универсальностью, т.к. определяется из уравнений движения систем полученных на основе детерминированных законов механики и характеризует изменение внутренней энергии системы при совершении над ней работы по её перемещению. И что важно, это то, что, сумма внутренней энергии и энергии движения при возможном изменении каждого из её членов сохраняется (представляет собой закон сохранения энергии открытой системы). При этом, ключевая роль в динамике — симметрия, т.е. физический смысл и природа нарушения симметрии в механике связаны с *трансформацией* энергии движения во внутреннюю энергию системы.

В статье [1] было отмечено, что незначительные расхождения результатов расчёта флуктации от статистической формулы зависимости квадратичных флуктаций объясняется тем, что добавление материальных точек ***(МТ)*** к системе меняет другие её параметры, от которых зависит величина например размера системы. Кроме этого, определённое отклонение от статистического закона может быть связано и с тем, что для заданного числа ***МТ*** нельзя строго считать систему равновесной. Это всё незначительные, но неизбежные погрешности. Воспользуемся этими свойствами ***Д-энтропии*** в дальнейшем.

Доказанная гипотеза Пуанкаре

По гипотезе А. Пуанкаре с доказательством Г. Перельмана, вкратце и наиболее ёмко представлен анализ в книге [3]. Доказательство стало возможным, потому что, был реализован план Гамильтона по потоку Риччи и придуманы достаточно хитрые способы, чтобы обойти существование сингулярностей: пространство как бы выпускает бесконечно тонкие объекты (как ветви дерева). Их необходимо было обрезать. И здесь самое важное — это технический момент: операция обрезки не должна бесконечно ускоряться, так чтобы за конечное время проводилось бесконечное число операций. При этом заметим, что поток Риччи градиентоподобен, т.е. существует вполне определённое направление вниз: многообразие «течёт» вниз в том смысле, что числовая величина всегда уменьшается со временем. Иными словами возможна количественная оценка «динамики» многообразия. Так вот, применяя законы подобия, с привлечением вышеуказанных определений ***Д-энтропии*** и что не менее важно соответствующих уравнений из [2], обнаруживается, что, в принципе эта ***Д-энтропия*** прекрасно согласуется с известным процессом доказательства гипотезы А. Пуанкаре. Ведь «перемещение» потока Риччи с позици ***Д-энтропийности*** есть ничто иное, как изменение внутренней энергии системы при совершению над ней работы по её перемещению. А чтобы закон сохранения энергии выполнялся (сумма внутренней энергии и энергии её движения при возможном изменении каждого из её членов), необходим баланс, т.е. как отмечалось выше — технический момент по операциям обрезки (с учётом подобных см. выше ***Д-энтропийных*** погрешностей). Всё это к единству материального мира, в контексте именно целостности физико-математической картины мира.

М-теория

Вернёмся к вопросу количества измерений нашего Мироздания. Напомним из книги [4] о М-теории, которая объединяет пять отдельных теорий струн в одну всеобъемлющую теорию с одиннадцатью пространственно-временными измерениями. Здесь стоит упомянуть о Э. Строминджире, который утверждает, что «понятие размерности не является абсолютным». При этом главный создатель М-теории Э. Виттен, признаёт, что десяти- и одинадцатимерное описание Вселенной «могут быть истинными одновременно …». С позиции ***Д-энтропийности*** это говорит о том, что существует в нашем Мироздании постоянный динамический процесс, а именно с позиции закона сохранения энергии — постоянное её «перетекание» («перераспределение» в т.ч. и *трансформация*) при этом из-за «инерционности» происходящих процессов, как отмечалось выше, может быть как одновременно, так и нет, существование десяти/одиннадцати измерений(понятно что с относительно незначительными погрешностями при «перетекании»). Например, в атмосфере, ионосфере, магнитосфере и т. д. происходят постоянные взаимодействия соответствующими геодинамическими составляющими (солнечной радиации с атмосферным газом и т. п.). Наше сознание/мозг существует в этом Мироздании, а значит в этих измерениях. Возможно изменение «количества измерений» в нашем организме (несомненно это связано со «слабостью» имунной системы) и «запускает динамический процесс» по онкообразованию(вот с позиции ***Д-энтропийности*** откуда и берётся эта непонятная энергия на бесконтрольное деление клеток - всё из-за закона сохранения энергии). Это всё к единству материального мира (в аспекте «большое и малое повторяют друг друга»). Потом, по ходу изложения — снова вернёмся к многомерности Вселенной.

Задача тысячелетия Ходжа

Обратимся теперь к другой задаче тысячелетия У. Ходжа. Она говорит о том, что форму любой обобщённой поверхности, задаваемой некими уравнениями, можно определить при помощи алгебраических циклов (представляющую собой рациональную линейную комбинацию). В книге [3], указывается, что гипотеза Ходжа постулирует глубокую связь между такими разделами математики как алгебра, топология и анализ с мощным исследовательским «инструментарием» как топологические инварианты и уравнение Лапласа. Это уравнение, где гравитационный потенциал удовлетворяет ему, т.е. в вакууме среднее значение потенциала по очень маленькой сфере равно его значению в центре сферы. Заметим, что для высших измерений эта гипотеза Ходжа не верна (показали М. Атья и Ф. Хирцербрух). С позиции Д-энтропийности, из-за этой сложности в измерениях — нет динамики(процесса) с перераспределением энергии. А вот с использованием рациональных коэффициентов есть надежда, что «процесс» пойдёт (здесь обнадёживает доказанная относительно недавно так называемая теорема об «алгебраичности локусов Ходжа»).

Заметим, что вышеуказанное уравнение Лапласа для исследования внесено по аналогии с доказательством гипотезы А. Пуанкаре, т.е. для «баланса», в смысле корректирующего «инструментария» для доказательства гипотезы Ходжа. Внесём свой корректирующий «инструментарий» частного характера, которым возможно будет воспользоваться при её доказательстве.

Представим раздел алгебраической топологии [5], в части спектральной последовательности Адамса с её e-инвариантами, в смысле введённого Адамсом известного гомоморфизма с вещественным аналогом e_R и комплексным e_C. А начало она берёт с алгебр Хопфа в контексте операций и коопераций соответственно:

$$A(E)0 = E0(E) \quad \text{и} \quad A(E)^* = E^*(E).$$

Они оказались полезными при доказательстве несуществования отображений f с заданными свойствами. Так вот Адамсу удалось показать, что с помощью алгебр Хопфа можно получить различные теоремы существования. Он построил эту спектральную последовательность, которая выглядит как (символы упрощены):

$$\mathrm{Ext}\,(E0\,(X),\, E0(Y)) \rightarrow\ [X,\, Y]0\,.$$

Левая часть представляет собой производные функторы и которая сходится к полугеометрическому объекту справа. Или другими словами говоря, эта спектральная последовательность измеряет отклонение гомоморфизма Гуревича от изоморфизма, т.е. несёт в себе некую «коррелирующую функцию» и является (условно) подобно формуле Кюннета (действует для произвольных топологических пространств X и Y), «смесью» некоторой алгебры и геометрии и в основном применяется для вычисления групп кобордизмов.

Далее представим из этой спектральной последовательности известную коммутативную диаграмму для любого r . Это —

$$\begin{tikzcd}
 & KO_{4r}(BS_p) & KO_{4r}(MS_p) \arrow[l, "\Phi_*"'] \arrow[r, "\mu_{\mathbb{R}}"] & KO_{4r}(KO) \arrow[ddl, dashed, "q"] \\
\pi_{4r}(BS_p) \arrow[ur, "h_{K0}"] \arrow[dr, "\Sigma_*"'] & & & \\
 & \pi_{4r-1} \arrow[r, "e_{\mathbb{R}}"'] & \dfrac{KO_{4r}(KO)}{(\eta_L - \eta_{\mathbb{R}})(\tilde{K}O_{4r}(S^0))} &
\end{tikzcd}$$

Где q — естественная проекция с отображениями, связанные некоторым образом с линейными комбинациями полиномов Ньютона N_k и числами Бернулли Br, в свою очередь остальные компоненты в этой диаграмме— некоторые разновидности групп(более подробно в [5]). Заметим, что числа Бернулли имеют «выход» на различные математические объекты/области, например на классы Тодда td(E) векторных расслоений E над схемой X(алгебраическим многообразием), где цикл есть конечная формальная сумма неприводимых подмногообразий с целыми коэффициентами.

Так вот, упомянутая выше «коррелирующая функция» спектральной последовательности Адамса может как и уравнение Лапласа пригодиться при доказательстве гипотезы Ходжа.

Анализ вышесказанного

Возвращаясь к М-теории с её измерениями и указанными выше особенностями, в качестве «коррелирующего инструментария» возможно рассмотреть эту спектральную последовательность Адамса с этой диаграммой. В этой диаграмме в принципе можно насчитать условно говоря «скрытые» 11 измерений, а инвариант ес Адамс определил для нестабильных групп, что позволяет изучать ряд нестабильных явлений в переносном смысле в этом контексте на «нестабильность» количества измерений М-теории. Не стоит здесь забывать и о ***Д-энтропийных*** уравнениях в смысле их подобия и «контроля» с точки зрения закона сохранения энергии с учётом её «перетекания».

Поясним это: вспомним из [4] о гомологической зеркальной симметрии при рассмотрении М-теории с 2-мя различными типами - D-бранами (её A- и B-бранами). Упрощённо, это набор моделей (например в конструкторе), детали которых имеют разную форму, однако набор моделей, которые можно из них собрать — один и тот же. Далее, как модель рассмотрим следующее: если образно представить, что в этом конкретном «конструкторе»(моделе) входящие в него детали начали несколько изменять свою форму(«деформироваться»), но при этом сам «конструктор» не менять своей формы, т.е. все эти «процессы» будут происходить у него внутри. С позиции ***Д-энтропии,*** с учётом сохранения энергии будет происходить её перераспределение: понятно, что здесь необходимо будет «контролировать» этот процесс(как при доказательстве гипотезы А. Пуанкаре) и поэтому необходим на постоянной основе «коррелирующий инструментарий», например типа уравнений Лапласа, спектральной последовательности Адамса (см. диаграмму) и т.п..

Возвращаясь снова к гипотезе Ходжа, где упрощённо можно выразить её цель как: необходимо, чтобы избранный набор инвариантов будет однозначно задавать исходный объект. Вообщем начали исследование этого процесса (или системы), значит положили началу динамике, далее началось однозначно (с позиции ***Д-энтропии***) «перераспределение энергии», при этом также однозначно потребуется «пластичный коррелирующий инструментарий». Вот тогда эта гипотеза будет доказана.

Другими словами набор инвариантов должен быть «пластичным», с признаками «адаптированности». Возвращаясь к упомянутой вначале иерархической связи звеньев, очевидно, что здесь имеем как модель «обратную» гипотезу Ходжа, т.е. проще говоря от общего к частному. Например в книге [4], с помощью некоторой гипотезы SYZ (названной в честь её авторов), предлагается способ разложения сложного пространства на составные части, такого как многообразие Калаби-Яу. Так вот, здесь с учётом вышеупомянутого «конструктора с внутренней динамикой» и законом сохранения энергии, это есть подходящая модель для дальнейших исследований в этом направлении, т.е «живая», способная к эволюционированию (кстати, например человек, если пренебречь, что он дышит, понятно и перестал расти, то бьющееся сердце, наполненный желудок и т.п. — в принципе подходят для этой модели). Более того, здесь возможны пересечения этих звеньев, например аналогично (относительно далёкая аналогия) пересечениям при рассмотрении пятимерных односвязных h-кобордизмов(см. книгу [6]), когда возможно сформировать в области пересечения гибкие ручки А. Кассона Vi (четырёхмерные многообразия), в т. ч. и с помощью объёмлемых изотопий (а это применительно к человеку ничто иное, как «метастазы» онкозаболевания из-за «перетекания» неконтролируемой энергии). Если гипотеза Ходжа окажется верна, то изучение большого и сложного класса многообразий сведётся к изучению гораздо более простых объектов. Начав условно говоря изучение, с точки зрения ***Д-энтропии*** **-** происходит изменение внутренней энергии системы, т.е. как указывалось выше, необходимо будет рассмотреть модель с «пластичными и коррелирующими» между собой входящими туда объектами (набор инвариантов), т. е. модель с внутренней динамикой. И здесь важно, при необходимости, стоит рассмотреть пересечения этих простых объектов для «канализирования неконтролируемой энергии».

Подытожим вышесказанное в следующем.

Модельное предложение 1: *Для создания целостной физико-математической картины нашего Мироздания, в контексте «взаимопроникновения» и исследования, напри-*

мер на основе законов подобия, таких областей знаний как М-теория, вопросы иерархии свойств и законов, а также известные математические задачи тысячелетия (гиптеза Пуанкаре — решённая и гипотеза Ходжа -нерешённая), — необходим с точки зрения закона сохранения энергии и ***Д-энтропийности*** *- «динамичный коррелирующий инструментарий» с разнообразным математическим «наполнением» для постоянного поддержания соответствующего «энергетического баланса» рассматриваемых объектов(с их возможным, при необходимости, пересечением между собой для «канализирования» неконтролируемой» энергии) в конкретной исследуемой системе.* <u>*Данное свойство возможно распространить на другие области знаний и приложений.*</u>

Замечание 1: Заметим, что, касается задачи тысячелетия об уравнениях Навье-Стокса, Теренс Тао ища подходы к ней в статье [7], опирался на работы Н. Каца и Н. Павлович, т.е. на их упрощённую схему: количество энергии в ограниченном объёме потока не изменяется, а сам объём уменьшается. А в задаче тысячелетия P\NP, где принципиальное значение имеет концепция эффективности алгоритма, т.е. применительно к нашим рассуждениям, когда начали решать задачу — то имеем «хаос», который надо «упорядочить», чтобы прийти к ответу, вообщем необходимо приложить определённые усилия сообразно «энергетической составляющей». Здесь полезно вспомнить об известном принципе наименьшего принуждения Гаусса (как модель), с известными фундаментальными неравенствами (курс теоретической механики). При этом, для случая P = NP, относятся случаи, когда алгоритм проверки короче алгоритма решения(«коррелируется» с этими фундаментальными неравенствами). Об этих задачах, в этом контексте, более подробно можно ознакомиться в статье [8]. Кроме вышеупомянутых ручек Кассона Vi, здесь возможно рассмотреть теорию пересечений восходящую к У. Фултону [9]. Кстати вышеуказанные классы Тодда td(E) векторных расслоений E над схемой X- подходящая область для исследования, поскольку имеет большое математическое «наполнение». В итоге имеем, что «энергетическая составляющая» тоже играет далеко не последнюю роль и вообщем всё это говорит в пользу этого модельного предложения.

Дальнейший анализ с «участием» ОНДС (пункты **1 — 4**).

1. Далее, самое время напомнить об ***ОНДС*** из статьи [10], где именно с позиции детерминизма происходит построение законов развития физической картины мира, в которой они **(*ОНДС*)** выступает как основной структурный элемент природы. При этом законы системы определяются законами динамики их элементов. Заметим, для данной статьи самое главное, что гармония с внешними ограничениями достигается благодаря балансу потоков энергии, вещества и энтропии для ***ОНДС,*** что позволяет формализовать решение задач по изучению ***ОНДС.*** А само понятие ***Д-энтропии*** распространяется на любые ***ОНДС,*** обладающие внутренней *иерархической структурой* и работа внешних сил тратится не только на перемещение ***ОНДС,*** но и на увеличение её внутренней энергии, т. е., на приращение ***Д-энтропии ОНДС.*** Показана возможность формализации взаимосвязей законов на всех ступенях бесконечной иерархической лестницы материи с приведением соответствующих уравнений баланса. Вообщем ***ОНДС —*** мощный «инстументарий» для познания нашего Мироздания. Здесь самое время задаться вопросом: «А может ли теория ***ОНДС*** ответить или подтвердить соответственно на некоторые вопросы и концепции КЦК (Конформной Циклической Космологии) Р. Пенроуза из его книги [11]?". Ответ — может, понятно, что с привлечением дополнительного математического «наполнения» из разных областей математики. Постараемся это здесь реализовать. Вообщем на основании моделирования, в основе которого будут находиться приёмы сопоставления между собой соответствующих объектов из ***ОНДС*** с объектами из разными областей математики, покажем, что используемое уравнение движения системы ***ОНДС,*** т. е. входящие туда члены (см. ниже), в смысле определения их конкретной функции — согласуется с подобным «поведением» и конкретными функциями этих математических объектов. Это моделирование должно ещё раз, на основании математического «наполнения», подтвердить корректность подхода с участием теории ***ОНДС*** совместно с разными математическими областями в познании (с учётом детерминизма) эволюции природных систем и ответить на некоторые вопросы нашего Мироздания.

Напомним одно из фундаментальных уравнений движения системы ***ОНДС*:**

$$MNV'N = - F - aNVN \quad (1),$$

где *MN* - масса ***МТ*** системы в количестве *N; VN* – скорость ***ЦМ*** (центра масс) системы; *F* – сила приложенная к ***ЦМ*** системы, определяющая движение в целом; *aN* – коэффициент определяющий изменение внутренней энергии (*UN),* здесь этот 2-ой член правой части уравнения (1) обуславливает изменение энергии движения. Заметим, если *N,* будет *стремиться в бесконечность* при условии равновесности системы, то увеличение внутренней энергии необратимо и такая система называется структурированной частицей (***СЧ***), для которой уже справедлив второй закон термодинамики. Далее в этой иерархии идут неравновесные системы (***НС***), в которой структурным элементом является ***СЧ,*** при этом вводится понятие энергии ***НС* —** *ENS* с сответствующим уравнением для этой энергии (более подробно в [10]**).** При этом иерархическая «лестница» материи выглядит так:

МТ → СЧ → НС → ОНДС.

И что важно, приведём здесь также рекуррентное уравнение для энергии, связанное с этой иерархическо «лестницей» характеризующее ***ОНДС*:**

$ER = ER\{ER\text{-}1\{ER\text{-}2\ldots\{E0\}\}\}$ (1а), где *R* - (координаты объектов) стремящиеся в бесконечность.

2. Далее представим область математики — теорию потенциала [12]. В ней представлены в конкретных зависимостях такие понятия как мера, ёмкость, заряд, потенциал, энергия и т. п. . В частности, в интересующемся нас аспекте, при рассмотрении метрических критериев, здесь приведём некоторую известную Лемму - «о покрытии шарами». Это , когда некоторое множество *A* покрыто шарами так, что каждая точка *x* является центром некоторого шара *S(x)* радиуса *r(x).* Если *A* ограничено, то из системы шаров {*S(x)*} можно выделить не более чем счётную систему {*S(xk)*}, покрывающую всё множество *A,* где есть *наибольшее число* множеств системы, имеющих *<u>общую точку</u>* *<u>O</u>* не превосходящую некоторого числа *N(p),* зависящего от размерности пространства. Здесь имеет место *h(r)* — монотонно возрастающая функция, при этом каждому множеству *E* (здесь {*Ai*} - покрытие множества *E* ограниченными множествами *Ai*), поставлено в соответствие некоторое число *mh(E).* Также, здесь имеем *l (r, x)* — *l* - меру шара радиуса *r* с центром в точке *x*. Вообще, имеем, что для любой точки *x* существует последовательность *rk* → 0 такая, что *h(rk)* < *l(rk; x)* (2) и согласно известной теореме при определённом условии, с довольно громоздким интегральным выражением с участием функции *h(r)* (которое меньше бесконечности), имеем *mh(E)* = 0 (3) для любой функции *h(r).* В итоге получаем: *mh(A) < 1/k N(p)l*, где если k *устремить в бесконечность,* то получим выражение (3) и то, что существует покрытие *A* шарами радиусов *rk*, (при любом *rk < e (e >0), k = 1, 2, 3, ...),* имеющее кратность не выше *N(p)* с выполнением выражения (2).

Отметим далее раздел теории потенциалов, где исследуются критерии иррегулярности с иррегулярными точками борелевских множеств - связи проблемы выметания (кратко — это когда условия при которых определяются равенство/неравенство потенциалов *U*) и проблемы равновесия (это когда для всякого компакта *F* в абелевой группе *X* существует такие константа *CK(F)* и мера *m* (функция множества), что имеем *UK(x) = CK(F)* (3а) приблизительно всюду на *F* и *UK(x)* < *CK(F)* всюду в *X*. Здесь также имеем 1-ый и 2-ой принципы максимума — это когда выполняются некоторые неравенства относящиеся к потенциалам. Причём для их одновременного выполнения необходимо выполнение определённых условий для семейства мер *м* с конечной энергией в окрестности *V* некоторой *точки O** - в евклидовом пространстве *R*.

Далее приведём известную теорему, где потенциал *U* обобщённой функции с конечной энергией является абсолютно непрерывным зарядом и его плотность *U(x)* может быть определена квази всюду (как бы всюду) в *R,* причём так, что *U(x) = U' (x) + +U''(x)* квазивсюду и *(T, v) =* ∫*U(x)dv(x),* где *T* и *v* соответственно произвольная обобщённая финитная функция и заряд. Если *м* — часть меры *v* на множестве, причём *м конечна*, то *(T, м) =* $\int$*V(x)dм(x),* где *V(x)* — предельная функция. Если условие *м конечно* не выполнено, то *м* представляют как сильный предел последовательности {*мi*}, при этом $\int$*V(x)dмi(x) = (T, мi)* (4) при *i* стремящемся в *бесконечность.* Заметим, что существуют потенциалы *UG(x)* с ядром *G(x,y), (*которое является произвольной функцией в *R),* и которые являются супергармоническими функциями действующими на бесконечности.

Анализ (предварительный): проанализируем вышесказанное в п.1 и п.2 в аспекте рассмотрения подобия отношений и взаимодействий, представленных в этих пунктах физико-математических объектов. Здесь очевидно, что ***МТ*** и ***СЧ*** системы ***ОНДС*** возможно сопоставить с шарами с радиусами *rk* стремящимся к нулю. При этом, однозначно ***ЦМ*** системы ***ОНДС*** сопоставим с *точками O и O** из п.2. Также из п.1 – *N* стремиться в *бесконечность,* а из п.2, при рассмотрении разных объектов из теории потенциалов — это *k* и *i* также стремяться в бесконечность. Понятно, что одно из основных уравнений динамики системы ***ОНДС*** **–** это (1), сопоставимо в модельном контексте с «энергетическим» уравнением (4) из п.2 теории потенциала. В итоге, здесь имеем именно *подобие логических рассуждений* в рассматриваемых областях знаний.

3. Обратимся к топологии четырёхмерных многообразий [13], где производится построение кобордизма, получаемого на пространстве модулей автодуальных связностей Аi. Если кратко, то связность А связана с алгеброй Ли, при этом она (связность) определяет некоторое разложение касательного расслоения к многообразию Р на горизонтальные и вертикальные векторы. Существует понятие кривизна связности — F(A), которая получается из проекции на горизонтальное подрасслоение; F(A) называют ещё формой кривизны или калибровочным полем, а соответствующую связность А — калибровочным *потенциалом.* Понятие автодуальной связности А* определяется выражением F(A) = (*) F(A), где (*) - оператор Ходжа: это когда на ориентированном римановом четырёхмерном многообразии X существует некоторая метрика со связанной с ней некоторым формально сопряжённым оператором *dA*(*), и этим оператором Ходжа, причём *dA*(*) F(A) = 0 есть известное уравнение Янга-Миллса.

Далее приведём некоторую теорему, в которой утверждается, что если Аi*- последовательность автодуальных связностей в расслоении Р, тогда из Аi* можно выбрать такую подпоследовательность, для которой выполняется одно из двух условий. Первое условие: Аi* калибровочно эквивалентны просто связностям Аi, сходящимся в С-топологии на бесконечность (С- константа) к автодуальной связности Аi* тоже на бесконечность. Второе условие: существует такие точка x и тривиализация *pi* расслоения Р|*K* на дополнении *K* к произвольному геодезическому шару с центром x, что *pi**Аi* → *q* в С(*K*) на бесконечность, где *q* – тривиальная плоскость связности. Предварительно рассматривается лемма, где рассматриваются проколотые шары *Bj* с центром в точках *xj* *(1<j<l).* В итоге , из равномерной сходимости на границе *dBj* вытекает, что -

$\int$|(*)F(A)|**dm = lim* $\int$|F(A)|**dm* mod 8п*Z (5),

где «п» - число «пи», * - выражение в «квадрате», Z – множество целых чисел.

Эта теорема показывает, что данные связности в расслоении Р — это связности, чьи кривизны сконцентрированы в окрестности *какой-либо точки,* обозначим её как *O***.

Лемма: *вышеуказанные аналитические рассуждения в пунктах 1, 2 и 3, касающиеся разных физико-математических областей знаний, объединяет одно важное свойство — подобие логических построений аналогичных входящих в них соответствующих составляющих, которое свидетельствует о целостности этой физико-математической картины мира с учётом теории* ***ОНДС***.

Доказательство

Оно довольно очевидно из вышесказанного. Анализ в п.1 и в п.2 в сочетании с п.3 свидетельствует об *аналогии* по части входящих в соответствующие области знаний объектов и «манипуляций» по «ходу» изложения их доказательств. Везде имеем «концентрацию» аналитических рассуждений при соответствующих доказательствах *вокруг* конкретных *точек:* ***ЦМ ОНДС****, O, O*, O*****.** А также, это соответствующие этим областям знаний аналогичные по смыслу «энергетические критерии» в уравнениях (1), (3), (4) и (5) со стремящимися некоторыми составляющими (см. пункты 1, 2 и 3) *в бесконечность*. При этом из п.2 имеем соответственно константы *CK(F)* из выражения (3а) и *С*-константа из п.3 *С*-топологии на *бесконечность*. Здесь заметим, что как отмечалось в п.2, потенциал *UG(x,y)* есть супергармоническая функция, которая тоже действует на *бесконечности*. Здесь можно привести и другие подобные примеры, в т.ч. и из других областей математики. *Лемма доказана.*

Вернёмся снова к вышеупомянутой КЦК Р. Пенроуза, который предполагает, что Вселенная в целом может рассматриваться как конформное многообразие, состоящее из последовательности (возможно бесконечной) эонов, каждый из которых относится к полной истории расширения Вселенной. Он также говорит о необычности «Большого Взрыва». Проблема состоит в том, что энтропия исходного состояния должно быть, с одной стороны, исключительно малой по отношению ко всему, что было до этого момента, а с другой — быть близкой к максимуму во всех остальных отношениях. Рассматривается коллапс чёрной дыры с системой из множества бифуркационных белых дыр, представляющих собой обращённые во времени чёрные дыры, но такая «конфигурация» нарушает второй закон термодинамики. Схема КЦК предполагает пространственно-замкнутую Вселенную, периодически расширяющуюся, а затем сжимающуюся при последовательных «Больших Взрывах» (или при «Больших хлопках»). Допуская существование циклоиды — получают модель осциллирующей Вселенной. В модели Толмена свойства составляющего Вселенную вещества допускают рост энтропии и, соответственно, выполняется второй закон термодинамики, вследствие чего размеры Вселенной возрастают на каждой последующей стадии развития. Существуют другие идеи о Вселенной, например идея Л. Смолина, когда новые стадии развития (эоны) возникают из сингулярностей внутри чёрных дыр и др.. Но основной вопрос остаётся открытым, проще говоря (согласно Р. Пенроузу) — куда должна «деваться» вся эта энтропия к началу следующего эона?

Авторы некоторых работ предлагают модели, в которых пространство и время постепенно исчезают, в результате чего наше восприятие пространства-времени остаётся каким-то примитивным представлением геометрических структур - это «маховские» теории и теория «твистора». Короче, «в научном сообществе нет никакого общего мнения относительно того, что действительно происходит с так называемым пространством-временем на уровне масштабов единиц Планка» - сетует Р. Пенроуз. Далее, Р. Пенроуз в своей книге [11] приводит уравнения, касающиеся описания возможного варианта развития отдалённого будущего нашего эона в те области, которые называют пост-Биг-бэнг-эволюцией (уравнения для области кроссовера), начинающиеся с введения понятия тензоров полной энергии U'' и T''', используемых в разных вариантах рассмотрения развития событий. Существует несколько альтернативных возможностей для наложения на одну *точку,* например O'' области кроссовера - некоторых условий, требуемых для определения конкретной g-метрики и величины Q, называемым фантомным полем (его наличие позволяет осуществлять масштабные преобразования). При этом существует лишь одна сингулярность («Большой Взрыв»), а других точках значения кривизны доминирует в следе $м^*$ (нужен для возникновения компонент, соответствующих в тензоре энергии массе покоя частиц) при *стремлении к нулю* некоторой разности величин, необходимых для определения g-метрики.

4. Сформулируем

Модельное предложение 2: *Для объяснения проблемы КЦК Р. Пенроуза о минимуме энтропии перед началом каждого эона в сингулярной точке и максимума в остальных отношениях, возможно, объяснить известным антропным принципом совместно с теорией устойчивости Ляпунова,* ***Д-энтропией с ОНДС,*** *а также математическим «наполнением» пунктов 1, 2 и 3 (см. выше), при этом не будет возникать противоречий с основными положениями КЦК (в смысле это* ***предложение*** *будет с ними сочетаться) - и это всё в аспекте целостной физико-математической картине мира.*

Доказательство

Вначале напомним о так называемом антропном принципе, это если бы значения фундаментальных констант не соответствовали точно и конкретно состоянию нашей Вселенной, то мы обнаружили бы себя в совершенно в другом мире. Из основной теоремы Ляпунова об устойчивости напомним лишь интересующийся нас «фрагмент»: « … знакопостоянной противоположного знака с V (функция), *или тождественно равной нулю*, то невозмущённое движение устойчиво». Вообщем движение, начавшееся с начальных возмущений — оно не выйдет из некоторой области. Схематично это состояние можно представить как:

$0 \rightarrow E \rightarrow E' \rightarrow \ldots . \rightarrow E^* \rightarrow 0$ (6),

здесь «фрагмент» без нулей и есть возмущённое состояние с «этапами» Е, а «фрагмент» из теоремы устойчивости Ляпунова *«тождественно равной нулю»* подходит к этой схеме — нули справа и слева. Попутно, из теории потенциала упомянем, что вышеупомянутые в п.2 иррегулярные точки связаны с так называемой устойчивостью задачи Дирихле (это когда в некоторой области задана непрерывная функция *f(x)).* Заметим также, что в различных математических областях встречается аналогичные схемы как (6), например в теории пересечений - векторные расслоения в многообразии (схеме) X. Применительно к КЦК Р. Пенроуза её можно записать в нужном нам виде:

$S_{min} \rightarrow S' \rightarrow S'' \rightarrow \ldots \rightarrow S^* \rightarrow S_{min}$ (6а), здесь S – энтропия (в принципе можно полагать $S_{min} \rightarrow 0$). Аналогично можно записать с учётом приращений энергий и энтропий и иерархической «лестницы» материи:

0 → **МТ** → **СЧ** → **НС** → **ОНДС** → 0 (6*б*).

С энергией движения Е, приращение энтропии ^S связано (из статьи [10]) следующим выражением:

$\wedge SR = (+)R \wedge E_i \,/\, \mathbf{(+)}R\, E_i$ (7),

здесь знак ^ - обозначение приращения, $i = 1, 2, 3, \ldots, R$, а *R* - есть координаты ***МТ*** стремящиеся в бесконечность, знак (+) - обозначение суммирования (обозначения Е и S совпадают с обозначениями в статье [10], остальные знаки - здесь свои). Напомним ещё раз, что самое *важное* в ***Д-энтропии*** с ***ОНДС,*** это то, что сумма внутренней энергии и энергии движения, при возможном изменении каждого из её членов, сохраняется: *это представляет закон сохранения энергии открытой системы,* при этом условно говоря вся эта в масштабах Вселенной «мегадинамика», или «мегавозмущение» («термин» восходит к теории устойчивости Ляпунова) *не выходит из «области нулей»* - см. схемы (6), (6а) и (6*б*). В сочетании с антропным принципом, этими схемами в контексте закона сохранения энергии (а это здесь самое главное, в смысле достаточно «жёсткий базис»), а также исходя из уравнения энергии ***ОНДС*** (1а) со стремящимися *R* в бесконечность при условии выполнения закона сохранения энергии в каждом эоне (по аналогии, как на каждой «ступени» иерархической лестнице), при этом, если в выражении (7) (из-за этого закона сохранения энергии) представить, что

$(+)R \wedge E_i \rightarrow 0$, то получаем, что и $\wedge SR \rightarrow 0$, *в общем, что и нам нужно*. Это соответствует теории ***ОНДС,*** где иерархия сил выстраивается в соответствии с молекулярными, атомными и другими силами, т. е. необходимо «бифуркационное состояние» (сингулярная точка перед очередным эоном), для выполнения вышеуказанных выражений, которое назовём «перезагрузкой». Но тогда, всё равно остаётся вопрос (см. выше) — куда «девать» всю эту энтропию к началу следующего эона? Здесь наиболее приемлемой с учётом вышесказанного (а особенно - ***Д-энтропии и ОНДС***) пока может быть предложение (идея), что эта энтропия каким-то образом «резервируется» (из-за закона сохранения энергии) в белых дырах (в контексте модели Толмена — см. выше), или согласно идее Л. Смолин - внутри чёрных дыр, но *всё с выполнением* второго закона термодинамики. Вот это *выполнение* - наиболее сложная часть доказательства *(понятно, что оно должно быть подтвержено, в т.ч. когда-то и экспериментально, например как в 1964г. А. Пензиас с Р. Уилсоном обнаружили известное реликтовое микроволновое электромагнитное излучение - «эхо» Большого Взрава)* , которое пока выходит за рамки доказательства данного модельного предложения. Заметим, что согласно приведённым в Лемме (см. выше) аналогиям, обнаруживается (при внимательном сопоставлении), что приведённые там составляющие (объекты) из различных физико-математических областей знаний:

ЦМ ОНДС с *точками* *O,* *O*, O*** - есть ничто иное как «*прообразы» сингулярной точки O'' Большого Взрыва.* А это ещё раз подтверждает физико-математическую целостность картины нашего Мироздания, т. е. здесь существует некая «генетическая» связь. *Модельное предложение доказано.*

Замечание 2: С альтернативным, но не противоречащими основным положениям Р. Пенроуза и С. Хокинга математическим «наполнением» субстанции предшестующей «Большому Взрыву» (с разных позиций математических областей знаний), можно ознакомиться в работах [14] и [15]. Приведённые выше теории из книги Р. Пенроуза [11] о постепенном исчезновении пространства-времени «с примитивной геометризацией объектов», т. е. нечто «абстрактное», чисто гипотетически, при перенесении на нашу действительность, можно предположить, что здесь *«прообразом»* (именно в «проекционном» аспекте в нашем Мироздании — как «отображение»: в смысле где же тогда должна «храниться» эта «исчезающая» информация о пространстве-времени?) является ничто иное как наше сознание — в смысле мыслительный процесс (тоже — нечто «спроецированное» из Мироздания и абстрактное»). Ведь с позиции теорий ***Д-энтропии —*** имеем «перетекание» энергии (в «диссипативно-проекционном» аспекте), в данном случае с «участием» «абстрактных» составляющих. Это всё ещё лишний раз — к единству материального мира («большое и малое повторяют друг друга»). По высказыванию в СМИ известного учёного -нейробиолога П. М. Балабана - «В нашем мозге мыслей нет» (мозг лишь «участвует» в мыслительной деятельности), при этом многие ведущие научные центры мира пока тщетно пытаются обнаружить в мозге нечто подобное, поэтому становится понятно, что мы всё ещё так мало знаем и понимаем о нашем Мироздании. Пока на этот счёт можно ознакомиться с работой [16] ранее опубликованной на страницах данного журнала.

Задача: Если рассуждать более «приземлено» (отвлечься от проблем Вселенной), то представляет интерес, с целью построить эффективное управление процессами в системе (в нужном аспекте), если задействовать наработки в ***ОНДС,*** а именно ***ЦМ*** системы, с позиции соответствующих уравнений динамики, одно из которых приведено здесь - это (1), с некоторыми наработками из статьи [17], где известные результаты из динамических систем на многообразиях (случай класса вращения, как топологический инвариант на нильпотентном многообразии) привнесены на некоторые результаты из известной диффузии В.И. Арнольда (связана с канонической теорией возмущения, восходящей к Н.Н. Нехорошеву, где резонансы рассматриваются ни как «препятствие», а как «подспорье»).

Вывод: *Из всего вышесказанного следует, что теории* ***Д-энтропии с ОНДС,*** *с их разнообразным математическим «наполнением» с позиции их «взаимопроникновения» - мощный «инструментарий» познания нашей физической картины мира, именно начиная с субстанции предшествующей «Большому Взрыву» и далее, в т.ч. и в сопутствующих физико-математических областях знаний на основе моделирования (здесь специально не были затронуты проблемы гравитации с позиций* ***Д-энтропийности*** *и* ***ОНДС,*** *но это тема для другой статьи).*

Список литературы:

1. Сомсиков В.М., К вопросам о путях развития эволюционной картины Мира, //Проблемы эволюции открытых систем, 2016, вып. 20 Т. №2 (июль-дек.), с. 7 - 13.
2. Сомсиков В.М., О природе динамической энтропии, //Проблемы эволюции открытых систем, 2015, вып. 17, Т. №1(янв. — июнь), с. 15 - 25.
3. Стюарт И. Величайшие математические задачи, М, Династия, пер. с англ., 2015, с. 255 -290, 367 - 394.
4. Яу Ш., Надис С., Теория струн и скрытые измерения Вселенной, пер. с англ. 2016, изд. Питер, с. 187, 219, 223, 224.
5. Свитцер Р., Алгебраическая топология - гомотопии и гомологии, пер. с англ. Ю.П. Соловьёва, М, Наука, 1985, с. 529 - 594.
6. Гийу Л., Марен А., В поисках утраченной топологии, пер. с англ. и франц. А.А. Гуревича, М, Мир, 1989, с. 254 - 257.
7. Tao T., arXiv: 1402. 0290v2[math.AP] 6 feb. 2014 FINITE TIME BLOWUP FOR AN AVERAGED THREE — DIMENSIONAL

NAVIER — STOKES EQUATION, p. 4.
8. Проняев В.В. К взаимосвязи Д-энтропии с математическими задачами тысячелетия: уравнения Навье-Стокса и P\NP с позиции частичного системного подхода, // Проблемы эволюции открытых систем, 2017, вып. 22, Т. №2 (июль-дек.), с. 88 - 98.
9. Фултон У., Теория пересечений, пер. с англ. В.И. Данилова, М, Мир, 1989, с. 21 - 25, 75, 117 - 298.
10. СомсиковВ.М., Открытые неравновесные динамические системы, // Проблемы эволюции открытых систем, 2017, вып. 22,Т.2 (июль — дек.), с. 33 — 46.
11. Пенроуз Р., Циклы времени. Новый взгляд на эволюцию Вселенной, пер. с англ. кфмн А.В. Хачояна, М, БИНОМ, 2014, с. 135 - 224, 257 - -277.
12. Ландкоф Н.С. Основы современной теории потенциала, М, «Наука», 1966, с. 62 210, 244 … 254, 345 … 356, 376 … 381.
13. Соловьёв Ю.П. Топология четырёхмерных многообразий, //УМН, 1991, Т. 46, вып. 2(278), с.178 - 185.
14. Проняев В.В., К вопросам математической реализации состояния субстанции предшествующей Большому Взрыву и другим сопутствующим проблемам, //Вестник развития науки и образования, 2014, №4, с. 32 - 42.
15. Проняев В.В., К некоторым вопросам возникновения Вселенной: флуктации — механизм образования, //Физика сознания, жизни, биокосмология и астрофизика, 2005, №4, с. 55 - 58.
16. Проняев В.В., Математические модели мыслительных процессов (к физике сознания), //Проблемы эволюции открытых систем, 2014, вып. 16, №2 (июль -дек.), с. 58 - 64.
17. Pronyaev V., To further the development of Arnold diffusion, 11-th International scientific conference “Europen Applied Sciences: modern approaches in scientific researches”, 10-th August 2014, Stuttgart, Germany, p. 20 - 24.

Принято к печати 20.01.2019

В.В. Проняев
ООО «Цвет», 394028, г. Воронеж, Россия
e-mail: **orion22@box.vsi.ru**

К ЦЕЛОСТНОЙ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТИНЕ МИРА ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С Д-ЭНТРОПИЕЙ И ОТКРЫТЫМИ НЕРАВНОВЕСНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ (ОНДС).

Аннотация: В данной статье, которая носит междисциплинарный характер, с отчасти системным подходом, в ответе на вопросы относящиеся к иерархической согласованности открытых неравновесных динамических систем **(ОНДС)**, рассматривается известная М-теория с привлечением математического аппарата — спектральной последовательности Адамса с её е-инвариантами и др., а также Конформной Циклической Космологии (КЦК) Р. Пенроуза на основе законов подобия. Попутно затрагиваются известные математические задачи тысячелетия: гипотезы А. Пуанкаре (доказанная) и У. Ходжа (пока недоказанная) и др. с задействованием основных положений **Д-энтропии**. Цель статьи — показать целостность физико-математической «картины» мира в её постоянном эволюционировании и «взаимопроникновении», из которой следует уже как вывод, что **Д-энтропия** с **ОНДС** (с позиции детерминизма) занимают одно из центральных мест наряду с другими областями математики, для дальнейшего познания этой эволюционной «картины» нашего Мироздания, начиная с субстанции предшествующей «Большому Взрыву», с помощью «коррелирующих инструментариев» из различных физико-математических областей знаний**.**

Ключевые слова: Д-энтропия, ОНДС, гипотеза, энергия, инструментарий, баланс, измерения, коррелирующий.

V.V. Pronyaev
SLL “Zvet”, 394028, t. Voronezh, Russia

e-mail: ***orion22@box.vsi.ru***

TO INTEGRITY PHYSICS-MATHEMATICAL PICTURE THE WORLD IN COMMUNICATION D-ENTROPY, OPEN NOBALANCE DYNAMICS SYSTEMS (ONDS).

Abstract In given article, which bear beetwen disciplinary character, from partly system approach in question irrelevant to hierarchic co-ordinated open dynamics inequality systems, regard popularity M-theory from attract mathematical apparat — spectral successsion Adams from it e-invariants and ect., also Conform Cycles of Cosmology (CCC) of R. Penrose, basic laws similarity. In passiny touch popularity mathematical problems thousand hypotes A. Puancare(preff) and E. Hodg (for the present proff) from over action basic position D-entropy. Aim article — explane integrity physics-mathematical picture world in it constant evolution in “inter penetration” and which D-entropy take up one from central place on a level with other fields mathematicalfor further knowledge this is evolution picture from help “correction instrument set” from different fteld the knowledge.

Keywords: D-entropy, ONDS, hypotes, energy, instrument set, balance, dimension, correction.

В.В. Проняев
"Цвет" ЖШҚ, 394028, Воронеж қ., Ресей
e-mail: orion22@box.vsi.ru

Д-ЭНТРОПИЯМЕН ЖӘНЕ АШЫҚ ТЕҢ ЕМЕС ДИНАМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРМЕН (АТДЖ) ӨЗАРА БАЙЛАНЫСТАҒЫ ӘЛЕМНІҢ ТҰТАС ФИЗИКА-МАТЕМАТИКАЛЫҚ КАРТИНАСЫНА

Аннотация. Пәнаралық сипатқа ие бұл мақалада, бір жағынан жүйелі тәсілдеумен, ашық теңсіздік динамикалық жүйелердің (**АТДЖ**) иерархиялық үйлесімділігіне қатысты сұрақтарға жауап ретінде белгілі М-теория қарастырылады, математикалық аппаратты тарта отырып – адамстың Е-инварианттары бар спектралды реттілігі және т.б., сондай-ақ конформалық циклдік космология (КЦК) Р. Пенроуза ұқсас заңдар негізінде. Мыңжылдықтың белгілі математикалық есептері қатар қозғалады: А. Пуанкаре (дәлелденген) және У. Ходжа (әзірге дәлелденбеген) гипотезалары және т.б., Д-энтропияның негізгі ережелерін іске қосу. Мақаланың мақсаты-әлемнің физикалық-математикалық "картинасының" оның тұрақты эволюциялануы мен "өзара интеграциялануы" бүтіндігін көрсету, одан Д-энтропия АТДЖ-мен (детерминизм позициясынан) білімнің басқа салаларымен қатар орталық орындардың бірін алып жатыр деген қорытынды ретінде, білімнің әртүрлі физика-математикалық салаларынан алынған "корреляциялық құралдар" көмегімен алдыңғы "Үлкен Жарылыстың" субстанциясынан бастап біздің әлемнің осы эволюциялық "суретін" одан әрі тану үшін.

Түйін сөздер: Д-энтропия, энергия, инструментарий, баланс, өлшеулер.

МРНТИ 29.27.51

А.Т. Габдуллина, А.М. Жүкешов, К. Фермахан, Е.К. Айтенов, А.У. Амренова
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа (ННЛОТ)
e-mail: gabdullyna71@gmail.com, erzhan-aytenov@mail.ru

К ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В статье представлены данные экспериментального исследования по получению покрытия на поверхности конструкционных материалов в плазме дугового разряда. Показано что, изучение физических процессов, за счет которых осуществляется задача получения покрытия, позволяет управлять конечным результатом и контролировать каждый этап исследования. С помощью данной технологии плазменной обработки были получены образцы конструкционных материалов с заданными характеристиками и структурой защитного покрытия. Эксперимент был реализован на вакуумно-дуговой установке ВДУ-1. В ВДУ-1 сильноточный низковольтный разряд формируется в глубоком вакууме и развивается в парах материала электрода, подвергающегося эрозии.Приведены данные экспериментов, по которым установлено, что при определенных параметрах плазменной обработки происходят существенные измененияв элементном составе и структуре, что сопровождается изменениями физико-механических свойств материалов.В частности, подобраны режимы получения функциональных покрытийс хорошей сплошностью и уплотнением на поверхности конструкционных сталей и алюминия.

Ключевые слова: покрытия, конструкционные материалы, плазменная обработка, вакуумное-дуговое напыление.

Введение

В современном мире всё большее значение приобретают ресурсо- и энергосберегающие экологически чистые технологии создания материалов с заданными свойствами. В развитых странах уделяется большое внимание исследованиям в области вакуумных и плазменных технологий. Особенностью этих технологий является низкая стоимость сырья и высокая стоимость технологии в конечном продукте. Применение прогрессивных плазменных технологий в отраслях машиностроения, транспорта и энергетики, приводит к экономии дорогих сортов сталей и цветных металлов, повышает качество изделий и конкурентоспособность товара, снижает отходы производства.

В связи с расширяющейся потребностью в конструкционных материалах с улучшенными физико-механическими и химическими характеристиками, способными длительно работать как в обычных, так и в экстремальных условиях,одним из путей решения этой задачи является нанесение защитных покрытий на поверхность конструкционных материалов с целью увеличения срока эксплуатациии изделий.Большинство деталей современной техники выходит из строя именно из-за коррозионного или эрозионного износа поверхности[1]. В таком случае, лучше нанести на изделие из недорогого конструкционного материала функциональные покрытия, которые смогут придать поверхности необходимые свойства, вместо того, чтобы изготавливать детали целиком из дорогостоящих сплавов [2].Чтобы обеспечить хорошую защиту материалу-подложке покрытие должно быть сплошным, иметь хорошую адгезию с основным металлом (сцепление), быть непроницаемым для агрессивной среды, равномерно распределяться по поверхности, обладать высокой износостойкостью, жаростойкостью и твердостью [3, 4].

Методика проведения эксперимента

В работе нанесение функционального покрытия на конструкционный материал было реализовано методом вакуумно-дугового напыления на экспериментальной установке вакуумно-дуговой ускоритель (ВДУ-1).

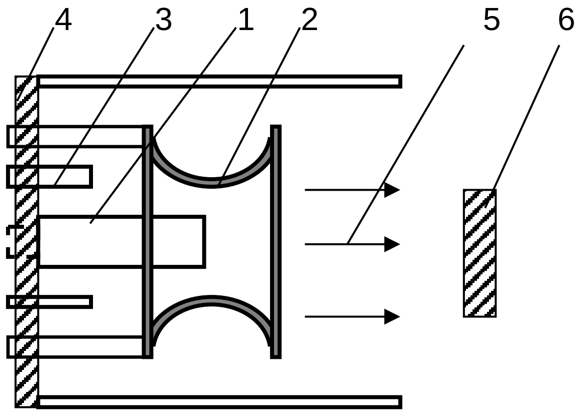
Вакуумные дуговые ускорители (ВДУ-1) создают потоки плазмы вокруг катода с радиально симметричной геометрией [5].В таких ускорителях формируются потоки частиц со скоростями до 10^5 м/с, энергиями до 10÷100 эВ, степенью ионизации потока (долей ионов в общем потоке) до 60-95 % и коэффициентом использования материала, приближающимся к 100%. В ВДУ-1 используется «вакуумная дуга» – сильноточный низковольтный разряд, формируемый в глубоком вакууме и развивающийся в парах материала электрода, подвергающегося эрозии.

Вакуумно-дуговое напылениеотносится к группе методов получения покрытий (в том числе и тонких наноплёнок) в вакууме, при которых покрытие получается путём прямой конденсациипара наносимого материала и химическая реакция на поверхности подложки активируется нагревом, либо ионизацией и диссоциацией газа дугового разряда[6, 7].При этом мишень из распыляемого материала находится в сильно ионизированной плазме под отрицательным потенциалом и играет роль катода, т.е.электрический ток, создающий дугу, подается в цепь, содержащую катод (отрицательный потенциал) и корпус вакуумной камеры (положительный потенциал). Положительные ионы под действием электрического поля вытягиваются и бомбардируют мишень, вызывая ее распыление[8]. При этом существует два основных сценария развития процесса, которые зависят от способа подачи материала в плазменный источник: 1) в виде прутка или проволоки и 2) подача материала в виде порошка (оксиды, нитриды, карбиды) [9-12]. Вакуумно-дуговым напылением получают слои на поверхности материала толщиной до 10^{-6}÷10^{-3} м. Производительность процесса напыления может достигать нескольких кг напыляемого материала в час, а плотность напыляемого слоя составляет до 80÷90 % от плотности монолитного металла. При этом тонкие (до 0,1÷0,3 мм) напыленные слои чаще имеют большую плотность и лучшее сцепление с напыляемым подслоем, чем более толстые.В данной работе использовался следующий механизм напыления на ВДУ: материал покрытия путем испарения в вакууме ионизировали в электрическом разряде и превращали в плазму, которую с помощью электромагнитного поля ускоряют и фокусируют в поток по направлению к обрабатываемой поверхности.

Процесс технологической модификации изделий происходит следующим образом:

1) После загрузки деталей в камеру и закрытия крышки камеры производится откачка рабочей камеры до остаточного давления равного 1,33×10^{-3} Па (1×10^{-5} мм.рт.ст.);

2) Включается питание электродугового испарителя и устанавливается режим горения дуги. Работа испарителя основана на эрозионном разрушении поверхностного слоя катода, выполненного из испаряемого материала, под действием горения электрической дуги, возникшей в разрядном промежутке между катодом и анодом. После зажигания разряд с поджигающего электрода 3 переходит восновной разряд между катодом 1 и анодом 2 (рисунок 1).



1 – катод; 2 – анод; 3 – электрод поджига; 4 – изолятор; 5 – поток плазмы, 6 – изделие

Рисунок 1 − Конструкция электродной части ВДУ

Степень адсорбции неионизированной, следовательно, и электрически нейтральной паровой фазы на подложке зависит от температуры разогрева последней [5].

Эксперимент и анализ результатов исследований

Как уже было сказано выше, эксперименты по напылению проводились на установке ВДУ-1. Установка ВДУ-1 была разработана в лаборатории импульсного плазменного ускорителя (ИПУ) отдела физики плазмы КазНУ им.аль-Фараби, предназначена для обработки в среде плазмы и нанесения тонких покрытий дуговым методом,работает на принципах плазменных ускорителей [5, 13]. В работе представлены данные экспериментов по нанесениюмедного покрытия на подложку из алюминия и конструкционных сталей.

В экспериментах медное покрытие на алюминиевых образцах было получено при разных режимах обработки, при давлении в рабочей камере ВДУ-1 от 10 до 14 Па, частоте и напряжении соответственно 5 Гц и 360÷470 В. При этом процесс нанесения покрытия на образец длился 30-50 минут.

На аналитическом оборудовании Национальной нанотехнологической лаборатории открытого типа (ННЛОТ) с помощью рентгеноспектрального анализатора (РСА метод) Pegasus 2000 было обнаружено изменение элементного состава исследуемого материала: если в составе исходного образца соотношение кислорода к алюминию было 10,53% к 89,47%, то после плазменной обработки содержание элементов O_2 и Al уменьшается до 6,72 и 69,66 соответственно (рисунок 2 и 3).Кроме того, в элементном составе поверхностного слоя исследуемых образцов обнаружено присутствие 19,98% Cu, что доказывает наличие покрытия из меди на алюминиевых образцах.В дальнейших экспериментах были определены режимы работы ВДУ-1, при которых удалось увеличить содержание меди до 54,26 %, что сопровождается уменьшениемпроцентного содержания и элементов O_2 почти в 2 раза, а Al в 3 раза, за счет внедрения меди.

Исследование микроструктуры алюминиевых образцов (рисунок 4) на Pegasus 2000 даже при небольшом увеличении позволило обнаружить измельчение зеренной структуры в 2 раза на образце с процентным содержанием меди 54,26 %, что обычно сопровождается ростом микротвердости. При этом поверхность сглаживается и становится более однородной.

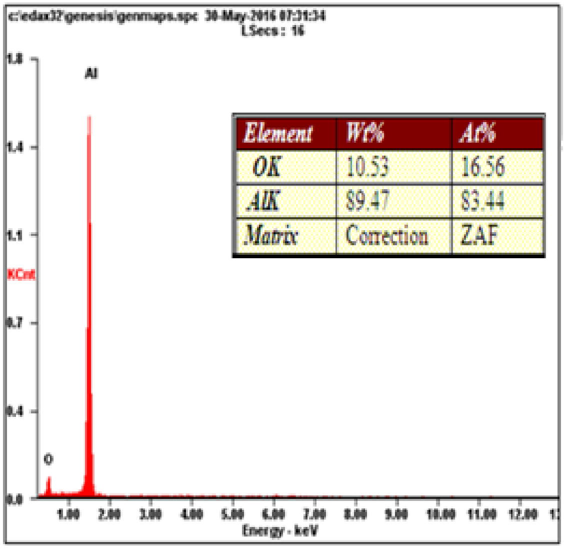


Рисунок 2 – Результаты РСА исходного образца

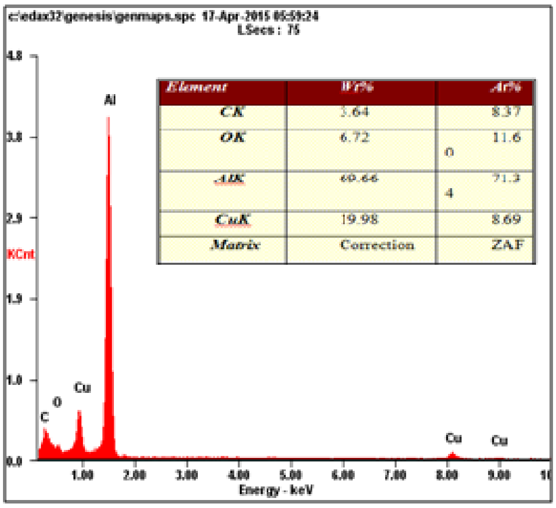
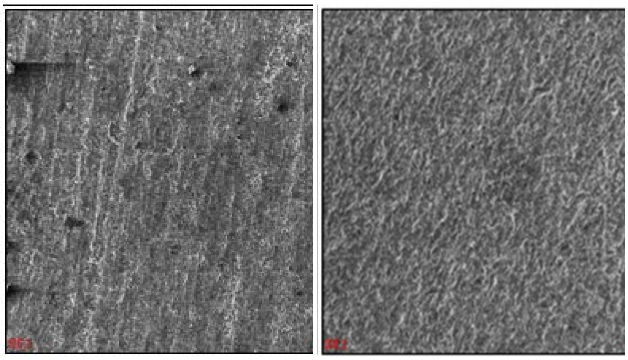


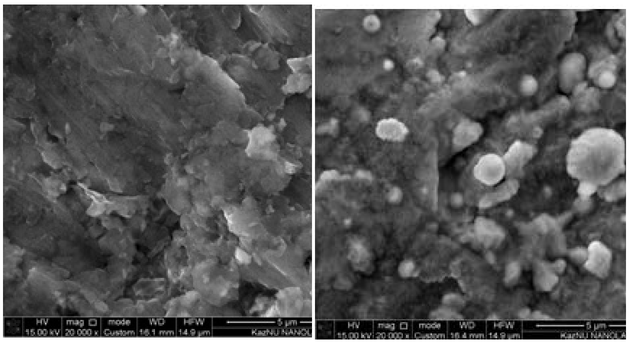
Рисунок 3– Данные РСА алюминиевых образцов

Более детальное исследование методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на Quanta 200i 3D показало, что на поверхности алюминиевого образца на отдельных участках наблюдается формирование шаровидных структур, являющихся результатом застывания осажденных микрочастиц после обработки в камере установки ВДУ-1, которые порой формируются в слоистую структуру (рисунок 5).



а) б)

Рисунок 4 – Топография поверхности алюминия до (а) и после (б) обработки на ВДУ-1



а) б)

а) поверхность исходного образца алюминия;
б) образец алюминия с покрытием

Рисунок 5– Микроструктура образца алюминия, полученная на Quanta 3D 200I

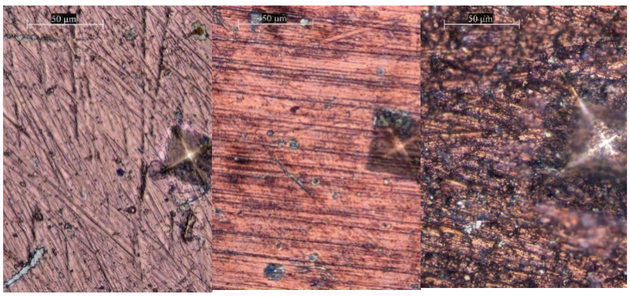
Эксперименты с конструкционными сталями проводились при разных режимах обработки, при давлении в рабочей камере ВДУ-1 для углеродистой стали $1,4 \div 1,9 \cdot 10^{-4}$ Па, для нержавеющей стали $1,1 \cdot 10^{-4} \div 7,5 \cdot 10^{-3}$ Па, при частоте и напряжении соответственно 5 Гц и 430 В. При этом процесс нанесения покрытия на образец длился 30-40 минут.Анализ поверхностного слоя нержавеющей стали (Pegasus 2000) показал эффективность процесса напыления, так как в химическом составе покрытия на образцах нержавеющей стали было обнаружено меди до 71,47 и 92,56 %. Исследование элементного состава покрытия на образцах углеродистой стали также показали достаточно высокое содержание меди, доля которой увеличилась до 52,72% по сравнению с исходной.

В таблице представлены результаты измерения микротвердости поверхности различных подложек на инвертированном металлографическом микроскопе отраженного света "Metaval" (микротвердомер HV-1000B), при F=300 Н, t=10 с, где №1 и №3 – данные образцов нержавеющей и углеродистой сталей, №2 – алюминиевого образца (таблица).

Для проведения сравнительного анализа были сделаны фотографии поверхности образцов разных материалов на оптическом микроскопе (рисунок 6) при одинаковом увеличении.

Таблица – Данные по микротвердости покрытий на различных подложках

№ образ.	№1		№2		№3	
Сила и время воздействия	500г 20 с	300г20с	300г20с	500г20с	500г20с	300г20с
1	281,5	277,2	39,7	37,5	155,9	156,8
2	273,3	288,4	36,1	38,7	153,2	155,5
3	274,9	275	39	37,3	163,5	164,4
4	272,2	266,7	38,5	36	171,8	165,1
5	271,8	260,4	37,2	40,2	176,3	156,2
6	273,7	271,7	36,3	38,5	173,9	165,1
7	270,1	278,9	38,1	40,3	170,4	158,6
8	274,3	268,7	39,5	39,8	159,9	160,4
9	277	271,9	37,3	36,7	157	157,4
10	277,5	271,1	39	38,1	160,1	156,1
Сред.	274,63	273	38,07	38,31	164,2	159,56
станд. откл.	3,304895	7,579651	1,290177	1,475315	8,261154	3,922358



а) б) в)

а) отпечаток на образце №1;
б) отпечаток на образце №3; в) отпечаток на образце №2;

Рисунок 6 – Фотография поверхности различных материалов

Из рисунка видно, что самый крупный отпечаток на алюминии (среднее значение микротвердости – 38 кг/мм^2), самого малого размера на поверхности нержавеющей стали (среднее значение микротвердости – 274 кг/мм^2), что хорошо демонстрирует результаты измерения микротвердости.

Результаты

Осаждение меди на поверхность образцов конструкционных сталей и алюминия вакуумно-дуговым методом на ВДУ-1 привело к следующим результатам:

- элементный состав, свойства и структура поверхности различных материалов при обработке на ВДУ-1 изменился и для всех образцов характерно наличие меди во всех образцах. При этом можно подобрать оптимальные режимы получения медной пленки с хорошей сплошностью;
- на поверхности алюминиевого образца на отдельных участках наблюдается формирование шаровидных структур (данные РЭМ), являющихся результатом застывания осажденных микрочастиц после обработки в камере установки ВДУ-1, которые порой формируются в слоистую структуру. При этом по результатам РСА(Pegasus 2000), содержание меди 19,98% Cu, в дальнейших экспериментах удалось увеличить до 54,26 %. Происходит изменение микротвердости локального характера;
- неоднозначно поведение нержавеющей стали, в некоторых случаях омеднение поверхности приводит к незначительному понижению микротвердости («Metaval»), что является ожидаемым результатом, так как увеличение процентного содержания меди до71,47 % и 92,56%, должно было сказаться на твердости получаемого покрытия, ведь медь является более мягким материалом, чем подложка из нержавеющей стали.

Работы проводились в рамках грантового проекта № AP05130108.

Список литературы:

1 Андреев Ю.Я. Коррозионные процессы, коррозионностойкие материалы и методы защиты от коррозии. Раздел: Защитные металлические покрытия. М.: МИСиС, 1988. – 162 с. № 845.

2 Кушнирёв Ф.У. и др. Организация энергетического производства. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 288 с.

3 Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме. — Новосибирск: Наука СО, 1984. - 456 с.

4 Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей. Учебник. — М.: Академия, 2003. – 448 с.

5 Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Амренова А.У., Ибраимова С. Упрочнение конструкционных сталей методом импульсной плазменной обработки// Сборник трудов XI Межд. конференции «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов». – Курск, 2014. – С.321-324

6 Никитин М.М. Технология и оборудование вакуумного напыления. — М.: Металлургия, 1992.

7 Paperny V.L., Chernikh A. A. Characteristics of plasma flow from a pulse vacuum arc // Proc. of XXIII-rd Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. – Bucharest, 2008. – 235 p.

8 Жукешов А.М., Габдуллина А.Т., Пак С.П., Амренова А.У. // Структурирование поверхности металлов под воздействием импульсных потоков плазмы. Вестник КазНУ. Серия физическая. – 2010, №2(33), – С. 8-14.

9 Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование – М.: Металлургия, 1992.

10 Харламов Ю.А. Детонационно-газовые установки для нанесения покрытий // Ворошиловград. – 1998. – С.33-48.

11 Морозов А.И. Плазмодинамика. Техносфера, 2004. – 524 с.

12 Аксенов И.И., Андреев А.А. Вакуумно-дуговые ионно-плазменные технологии покрытий в ХФТИ // Вопросы атомной науки и техники.Сер.: Вакуум. Чистые материалы, сверхпроводники. – 1998. – Вып. 2, №3. – С. 3-10.

13 Zhukeshov A, Gabdullina A, Amrenova A, Moldabekov Zh, Kussyman A, Amirkozhanova M, Bakytkyzy T, Fermakhan K, Kaibar A, Kaster S. Development of a Virtual laboratory treatment and spraying to investigate the interaction of the material with the plasma // J. Lecture Notes in computer Science (LNCS 9254), Augmented and Virtual Reality, Proceedings. Print ISBN 978-3-319-22887-7.– P.475-481.

Принято к печати 10.01.2019

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа (ННЛОТ)
e-mail: gabdullyna71@gmail.com, erzhan-aytenov@mail.ru

К ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В статье представлены данные экспериментального исследования по получению покрытия на поверхности конструкционных материалов в плазме дугового разряда. Показано что, изучение физических процессов, за счет которых осуществляется задача получения покрытия, позволяет управлять конечным результатом и контролировать каждый этап исследования. С помощью данной технологии плазменной обработки были получены образцы конструкционных материалов с заданными характеристиками и структурой защитного покрытия. Эксперимент был реализован на вакуумно-дуговой установке ВДУ-1. В ВДУ-1 сильноточный низковольтный разряд формируется в глубоком вакууме и развивается в парах материала электрода, подвергающегося эрозии.Приведены данные экспериментов, по которым установлено, что при определенных параметрах плазменной обработки происходят существенные изменениияв элементном составе и структуре, что сопровождается изменениями физико-механических свойств материалов.В частности, подобраны режимы получения функциональных покрытийс хорошей сплошностью и уплотнением на поверхности конструкционных сталей и алюминия.

Ключевые слова: покрытия, конструкционные материалы, плазменная обработка, вакуумное-дуговое напыление.

A.T. Gabdullina, A.M. Zhukeshov, K. Fermahan, E.K. Aytenov, A.U. Amrenova
al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
National nanotechnological laboratory (NNL)
e-mail: gabdullyna71@gmail.com, erzhan-aytenov@mail.ru

TO TECHNOLOGY FOR FUNCTIONAL COATINGS ON SURFACES OF MATERIALS

Abstract. The article presents the data of experimental research to obtain a coating on the surface of structural materials in arc discharge plasma. It is shown that the study of physical processes, due to which the task of obtaining a coating, allows you to control the end result and monitor each stage of the study. With the help of this plasma treatment technology, samples of structural materials with specified characteristics and structure of the protective coating were obtained. The experiment was carried out on a vacuum-arc installation VDU-1. In VDU-1, a high-current low-voltage discharge is formed in high vacuum and develops in vapors of the electrode material undergoing erosion.The data of experiments on which it are established that at certain parameters of plasma treatment, significant changes occur in the elemental composition and structure, which is accompanied by changes in the physical and mechanical properties of the material surface. In particular, the modes of obtaining functional coatings with good continuity and compaction on the surface of structural steels and aluminum were selected.

Keywords: coatings, constructional materials, plasma treatment, vacuum-arc dusting.

Габдуллина А.Т., Жүкешов А.М., Фермахан К., Айтенов Е.Қ., Амренова А.У.

аль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан
Ашық түрдегі ұлттық нанотехнологиялық зертхана (АТҰНЗ)
e-mail: gabdullyna71@gmail.com, erzhan-aytenov@mail.ru

МАТЕРИАЛДАРДЫҢ БЕТІНЕ ФУНКЦИОНАЛДЫ ЖАБЫНДАРДЫ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНА АРНАЛҒАН

Аннотация. Мақалада доғалы разрядты плазмадағы конструкциялық материалдардың бетіне жабынды алу бойынша эксперименталды зерттеу деректері берілген.Жабынды алу міндеті жүзеге асырылатын физикалық процестерді зерттеу соңғы нәтижені басқаруға және зерттеудің әрбір кезеңін бақылауға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Плазмалық өңдеудің осы технологиясының көмегімен берілген сипаттамалары мен қорғаныс жабынының құрылымы көрсетілген. Конструкциялық материалдардың үлгілері алынды. Эксперимент ВДҮ-1 вакуумдық-доғалық қондырғысыда жүзеге асырылған. ВДҮ-1 қатты ток ағыны, төменвольті разряд – терең вакуумде пайда болады және эрозияға ұшырайтын электрод материалының буында дамиды. Белгілі бір өңдеу параметрлерінде жабындының нығыздалуы және материалдардың элемент құрылымының өзгеруі жүргізілген эксперименттерде келтірілген. Осыдан материал бетінде физика-механикалық қасиеттерінің өзгересі байқалады. Атап айтқанда, конструкциялық болат және алюминий бетінде толық тегістелген және нығыздалған функционалды жабындының алу режимдері таңдалып көрсетілген.

Түйін сөздер: қабықшалар, конструкциялық материалдар, плазмалық өңдеу, вакуумды-доғалық тозаңдау.

МРНТИ 29.27.31

М.К. Исанова[1], С.К. Коданова[1], Т.С. Рамазанов[1], А.К. Хикметов[1],
Р.И. Голятина[2], С.А. Майоров[2,*]
[1]НИИЭТФ, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия
**e-mail: mayorov_sa@mail.ru*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ ПОЗИТРОНИЯ

В работе методом молекулярной динамики исследованы релаксационные свойства полностью ионизованной, горячей, идеальной плазмы. В качестве примера рассмотрена классическая задача о выравнивании электронной и ионной температур при различных соотношениях масс, определены времена релаксации температур, исследованы влияние числа частиц и типа граничных условии на результаты моделирования. Проведено сравнение полученных результатов с существующими теоретическими результатами. При анализе автокорреляционных функции потока частиц одного знака в системе получены, что время распада корреляции в системе с зеркально отражающими граничными условиями имеют порядок величины обратной плазменной частоты, а для системы с периодическими граничными условиями - периода ленгмюрских колебаний. Также обнаружено, что в системе с периодическими граничными условиями время релаксации температур меньше, чем в системе с зеркально отражающими граничными условиями. Как следует из анализа результатов, влияние числа частиц на автокорреляционные функции потоков незначительно.

Ключевые слова: плазма, классическая кулоновская система, кулоновский логарифм, релаксация температур, отношение масс, метод молекулярной динамики, периодические граничные условия, зеркальные граничные условия, автокорреляционная функция тока.

Введение

В настоящее время ведутся активные исследования свойств плотной идеальной плазмы в связи с проблемой реализации инерциального термоядерного синтеза [1-6]. Отметим, что исследование процессов релаксации температур электронов и ионов актуально в целях верификации методов моделирования [7-9]. Кроме того, неизотермическая плазма появляется в экспериментах при взаимодействии потока тяжелых ионов с мишенью [10-12]. Обычно выравнивание температуры в электронной и в ионной подсистемах происходит на много быстрей чем между электронами и ионами. Последнее, как известно, связано с тем, что при столкновений передача энергии пропорциональна отношению масс частиц. Для исследования релаксационных процессов в плазме используются различные подходы [13-15] и метод молекулярной динамики (МД) является одним из наиболее популярных [16-20].

Многими авторами рассматривалась задача о релаксации температур начиная с первых кинетических моделей, в том числе с помощью вычислительного эксперимента [21-23]. Обычно теоретические модели ограничиваются случаем малого отклонения системы от равновесного состояния. Расчет релаксации энергии между двумя подсистемами, далекими от равновесия, реально возможен только на основе численного моделирования.

В настоящей работе методом молекулярной динамики проведено моделирование выравнивания температур для полностью ионизованной, горячей, идеальной плазмы. Рассмотрена плазма позитрония, т.е. система с равными массами и зарядами. Было проведено исследование процесса выравнивания ионной и электронной температур при различных отношениях масс, также исследовалась полностью ионизованная плазма изотопов водорода, т.е. система, состоящая из частиц с одинаковыми по величине зарядами, но разными массами (электроны и однократно заряженные ионы).

Для моделирования методом молекулярной динамики был выбран кулоновский потенциал для описания взаимодействия частиц, поскольку кулоновский потенциал является хорошей моделью для плазмы инерционного термоядерного синтеза. Система уравнений движения заряженных частиц должна дополняться начальными и граничными условиями. В качестве граничных условий обычно используются зеркальные граничные условия или периодические, для которых иногда используется процедура суммирования Эвальда.

В наших расчетах начальное состояние выбрано сильно неравновесным, функция распределения электронов и ионов в начальный момент полагалось максвелловской с сильно различающимися температурами. При релаксации начального состояния происходит выравнивание температур. Причем плазма может находиться как в ловушке, так и разлетаться в вакуум - в любом случае, взаимодействие электронной и ионной подсистем приводит к выравниванию температур.

Постановка задачи

Рассмотрим некий объем, в котором в начальный момент времени содержатся два компонента с различными температурами: некоторое число электронов с позитронами для плазмы позитрония. Рассматривались системы с различным числом частиц $2N = 128, 512, 2048, 4096$ распределенных внутри счетной ячейки - куба с ребром L. Размеры куба выбирались из условия $nL^3 = N$, где n - числовая плотность ионов, которая задавалась равной $10^{12}\ см^{-3}$.

Начальные условия рассма-тривались двух типов. Первый, когда в начальный момент времени все частицы неподвижный и распределены равновероятно внутри счетной ячейки. Этот тип начальных условий соответствует экспериментам с ультрахолодной плазмой, создаваемой при селективной ионизации холодного газа. Он подробно рассмотрен в [24]. Второй тип начальных условий, это когда частицы в начальный момент времени распределены равновероятно в счетной ячейке, а их скорости имеют распределение Максвелла с различными температурами для положительно и отрицательно заряженных частиц.

Граничные условия были двух типов: зеркально отражающие стенки и периодические граничные условия. В случае периодических граничных условий учитывалось взаимодействие частиц только в одной ячейке, т.е. процедура суммирования Эвальда не использовалась.

Показатель неидеальности классической кулоновской системы определяется следующей формулой:

$$\Gamma = \frac{Z^2 e^2}{aT} \sim \frac{Z^2 n^{1/3}}{T} \qquad (1)$$

где $a = (3/4\pi n)^{1/3}$ - радиус сферы Вигнера-Зейтца. Большие значения показателя неидеальности могут быть достигнуты различными способами: за счет большого заряда Z (заряд пылинки в плазме) [25]; высокой плотности ионов n (инерционный термоядерный синтез) [26]; низкой температуры T (ультрахолодная плазма) [27-28]. Для простоты будем рассматривать случай однократно заряженных ионов $Z = 1$.

Если предположить, что в начальный момент времени две компоненты плазмы имеют максвелловское распределение скоростей с различными температурами, то процесс выравнивания температур за счет кулоновских столкновений описывается уравнением [29]:

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{T_p - T_e}{\tau_{ep}}, \quad \frac{dT_p}{dt} = \frac{T_e - T_p}{\tau_{pe}}, \qquad (2)$$

в котором скорость релаксации температуры электронов определяется разностью температур и характерным временем релаксаций:

$$\tau_{ep} = \frac{1}{\nu_{ep}} = \frac{3m_e m_p}{8\sqrt{2\pi} n_p e^4 \Lambda}\left(\frac{k_B T_e}{m_e} + \frac{k_B T_p}{m_p}\right)^{3/2}. \qquad (3)$$

Для определения времени релаксации температур электронов и ионов необходимо знание значения кулоновского логарифма Λ, который как известно, отражает дальнодействующий характер кулоновского взаимодействия и определяется следующим образом [29]:

$$\Lambda = \ln\frac{b_{\max}}{b_{\min}}, \qquad (4)$$

где $b_{\max}$, $b_{\min}$ - максимальный и минимальный прицельный параметры. В качестве минимального прицельного параметра берется длина Ландау $b_c = Ze^2 / k_B T$ либо тепловая длина волны де-Бройля $\lambda = \sqrt{2\pi\hbar^2 / m_e k_B T_e}$, максимального - радиус Дебая.

Результаты расчетов выравнивания температур

Вначале рассмотрим влияние на процесс выравнивания температур в кулоновской системе следующих факторов: тип граничных условии и число частиц в системе. На рисунке 1, приложение 1 представлены графики зависимости температур электронов и ионов для двух типов граничных условии: верхняя панель - зеркальные; нижняя панель - периодические. Разные графики по горизонтали соответствуют различному числу частиц в системе $2N = 128, 512, 2048, 4096$.

Из приведенных рисунков следует что, имеется весьма сильная зависимость времени релаксации температур от типа граничных условии при малом числе частиц в системе. С увлечением числа частиц в системе, как и следовало ожидать, зависимость уменьшается. Отметим интересную особенность, что при малом числе частиц в системе с периодическими граничными условиями выравнивание температур происходит быстрее. Это связано, с тем, что если при зеркальных граничных условиях расстояние частицы до стенки значительно меньше среднего межчастичного расстояния $n^{-1/3}$, то среднее значение микрополя, действующего на частицу, $2^{2/3}$ раза меньше среднего микрополя.

Результаты расчетов автокорреляционных функции потоков

Рассмотрим автокорреляционные функции потоков положительно и отрицательно заряженных частиц (ионов и электронов).

Поскольку наша система в целом строго нейтральна и ее суммарный импульс равен нулью в периодической системе и колеблется около нулевого значения в системе с зеркальными граничными условиями, то будем рассматривать автокорреляционные функции для потока частиц только одного знака:

$$J(t) = \sum_{i}^{N} q_i v_i(t)\,, \tag{5}$$

где q_i, v_i - заряд и скорость i частицы, соответственно. Тогда, автокоррелятор потока частиц определяется формулой:

$$Z(\tau) = \left\langle J(0) \cdot J(\tau) \right\rangle \Big/ \left\langle J^2(0) \right\rangle. \tag{6}$$

Автокоррелятор потока является важной характеристикой рассматриваемой кулоновской системы. Его зависимость от числа частиц и типа граничных условии представляет большой методический интерес. Поэтому, были проведены расчеты с различным числом частиц и двумя типами граничных условии: зеркально отражающими и периодическими. На рисунке 2 (приложение 2) в верхней панели приведены зависимости автокорреляционных функций потока в кубе с зеркальными граничными условиями при числе частиц $2N = 128, 512, 2048, 4096$. На рисунке 2(приложение 2) в нижней панели представлены аналогичные графики для периодической системы. На всех рисунках сплошными кривыми представлены зависимость

$$Z(\tau) = \exp(-\tau\, \omega_{plasma})\,, \tag{7}$$

где ω_{plasma} - плазменная частота. Сравнение рисунков в одной колонке показывает, что они не сильно отличаются друг от друга, т.е. зависимость АКФ потока от числа частиц довольно слабая. Но различие графиков в правой и левой колонке очень большое, т.е. зависимость от типа граничных условии очень сильная.

Другим интересным фактом, как видно на рисунках, является то, что время распада корреляции в системе с периодическими граничными условиями значительно больше и автокорреляционные функции носят более монотонный характер.

Для более явной демонстрации этого эффекта на рисунке 3 приведены зависимости автокорреляционных функции потока для системы с зеркальными граничными условиями в линейном масштабе.

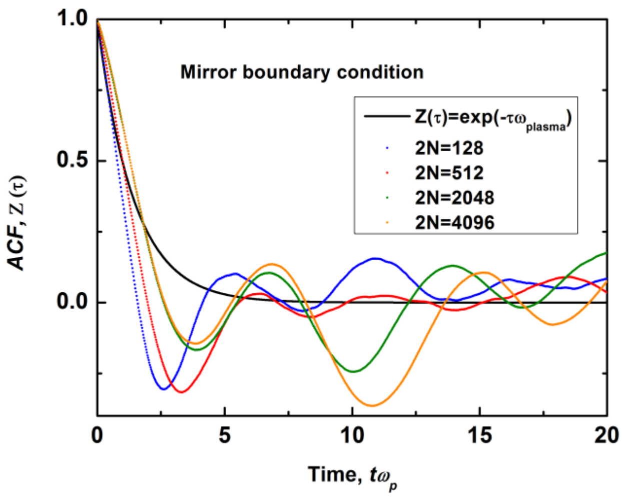


Рисунок 3 - Зависимости автокорреляционных функции потока для системы с зеркальными граничными условиями в линейном масштабе

На рисунке 4 в полулогарифмическом масштабе представлены аналогичные результаты для системы с периодическими граничными условиями.

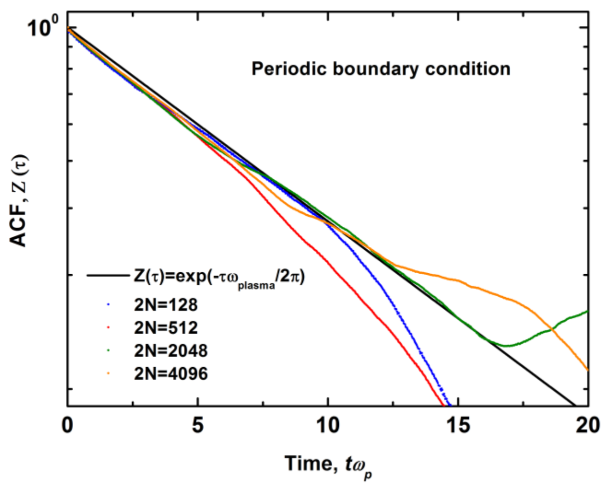


Рисунок 4 – Зависимости автокорреляционных функции потока для системы с периодическими граничными условиями в полулогарифмическом масштабе

Для системы с зеркальными граничными условиями сплошная кривая с зависимостью (6) демонстрирует, что начальные период АКФ хорошо описывается экспонентой с характерным временем распада корреляции $1/\omega_{plasma}$. Как следует из приведенного графика для системы с периодическими граничными условиями сплошная кривая с зависимостью $Z(\tau) = \exp(-\tau\,\omega_{plasma}/2\pi)$ показывает, что для такой системы характерная время распада корреляции с хорошей точностью совпадает в ленгмюрским периодом.

Заключение

В работе на основе метода молекулярной динамики рассмотрена задача о релаксации температур в классической кулоновской системы. Проведено исследование свойств такой системы в зависимости от числа частиц в ней, рассмотрены случаи зеркально отражающих и преиодических граничных условии.

При анализе автокорреляционных функции потока частиц одного знака в системе получены, что время распада корреляции в системе с зеркально отражающими граничными условиями имеют порядок величины обратной плазменной частоты, а для системы с периодическими граничными условиями - периода ленгмюрских колебаний. Также обнаружено, что в системе с периодическими граничными условиями время релаксации температур меньше, чем в системе с зеркально отражающими граничными условиями. Как следует из анализа результатов, влияние числа частиц на автокорреляционные функции потоков незначительно.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта AP05134366 Исследование фундаментальных свойств неидеальной комплексной плазмы на основе моделей взаимодействия частиц (2019).

Список литературы

1 Dimonte G. and Daligault J. Molecular-dynamics simulations of electron-ion temperature relaxation in a classical Coulomb plasma// Phys. Rev. Lett. - 2008. - Vol. 101. - P. 135001.

2 Benedict L. X., Glosli J. N., Richards D. F., Streitz F. H., Hau-Riege S. P., London R. A., Graziani F. R., Murillo M. S., and Benage J. F. Molecular Dynamics Simulations of Electron-Ion Temperature Equilibration in an SF6 Plasma // Phys. Rev. Lett. - 2009. - Vol. 102. - P. 205004

3 Atzeni S., Meyer-ter-Vehn J., The Physics of Inertial Fusion. - Clarendon Press, Oxford, 2004. - p. 458.

4 Issanova M.K., Kodanova S.K., Ramazanov T.S. and Hoffmann D.H.H. Transport Properties of Inertial Confinement Fusion Dense Plasmas // Contrib. Plasma Phys. - 2016. - Vol. 56(5). - P. 425.

5 Xu B., Hu S.X. Effects of electron-ion temperature equilibration on inertial confinement fusion implosions // Phys. Rev. E -2011. - Vol. 84. - P. 016408.

6 Ng A. Outstanding questions in electron–ion energy relaxation, lattice stability, and dielectric function of warm dense matter// Int. J. Quantum Chem. - 2011. - Vol. 112. - P. 150.

7 Celliers P., Ng A., Xu G., Forsman A. Thermal equilibration in a shock wave // Phys. Rev. Lett. - 1992. - Vol. 68. - P. 2305.

8 Ng A. et al. Electron-ion equilibration in a strongly coupled plasma // Phys. Rev. E - 1995. - Vol. 52. - P. 4299.

9 Cho B.I. et al. Electronic Structure of Warm Dense Copper Studied by Ultrafast X-Ray Absorption Spectroscopy // Phys. Rev. Lett. - 2011. - Vol. 106. - P. 167601.

10 Goncharov V.N. et al. Demonstration of the Highest Deuterium-Tritium Areal Density Using Multiple-Picket Cryogenic Designs on OMEGA // Phys. Rev. Lett. - 2010. - Vo. 104. - P. 165001.

11 Brian W.J.M., Neil R.T. X-ray free-electron lasers // Nat. Photonics. - 2010. Vol. 4. - P. 814.

12 Lindl J.D. et al. Progress towards ignition on the National Ignition Facility // Nucl. Fusion. - 2011. - Vol. 51. - P. 094024.

13 Kodanova S.K., Issanova M.K., Amirov S.M., Ramazanov T.S., Tikhonov A., Moldabekov Z.A. Relaxation of non-isothermal hot dense plasma parameters // Matter Radiat. Extremes - 2018. - Vol. 3. - P. 40.

14 Kodanova S.K., Ramazanov T.S., Issanova M.K., Nigmetova G.N., Moldabekov Z. Investigation of Coulomb Logarithm and Relaxation Processes in Dense Plasma on the Basis of Effective Potentials // Contrib. Plasma Phys. - 2015. - Vol. 55. - P. 271.

15 Zhao Y. A binary collision Monte Carlo model for temperature relaxation in multicomponent plasmas // AIP Advances. - 2018. - Vol. 8. - P. 075016.

16 Graziani F.R. et al. Large-scale molecular dynamics simulations of dense plasmas: The Cimarron Project // High. Energy Density Phys. - 2012. - Vol. 8. - P.105.

17 Hansen J.P., McDonald I.R. Thermal relaxation in a strongly coupled two-temperature plasma // Phys. Lett. - 1983. - Vol. - 97A. - P. 42.

18 Glosli J.N. et al. Molecular dynamics simulations of temperature quilibration in dense hydrogen // Phys. Rev. E. - 2008. - Vol. 78. - P. 025401(R).

19 Dharma-wardana M.W.C. Quantum Corrections and Bound-State Effects in the Energy Relaxation of Hot Dense Hydrogen // Phys. Rev. Lett. 2008. - Vol. 101. - P. 035002.

20 Ma Q., Dai J., Kang D., Zhao Z., Yuan J., Zhao X. Molecular dynamics simulation of electron–ion temperature relaxation in dense hydrogen: A scheme of truncated Coulomb potential // High Energy Density Physics. - 2014. - Vol. - 13. - P. 34-39.

21 Blancard C., Clerouin J., Faussurier G. Fast temperature relaxation model in dense plasmas // High. Energy Density Phys. - 2013. - Vol. - 9. - P. 247.

22 Vorberger J., Gericke D.O. Comparison of electron-ion energy transfer in dense plasmas obtained from numerical simulations and quantum kinetic theory // High. Energy Density Phys. - 2014. - Vol. 10. - P. 1.

23 Benedict L.X. et al. Molecular dynamics simulations and generalized Lenard-Balescu calculations of electron-ion temperature equilibration in plasmas // Phys. Rev. E. - 2012. - Vol. 86. - P. 046406.

24 Maiorov S.A. On the ultracold plasma evolution // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. - 2014. - Vol. 41(3). - P. 81-87.

25 Fortov V.E., Petrov O.F., Vaulina O.S., Timirkhanov R.A. Viscosity of a Strongly Coupled Dust Component in a Weakly Ionized Plasma // Phys. Rev. Lett. - 2012. - Vol. 109. - P. 055002.

26 Hoffmann D. H. H., Blazevic A., Ni P., Rosmej O., Roth M., Tahir N. A., Tauschwitz A., Udrea S., Varentsov D., Weyrich K., Maron Y. Present and future perspectives for high energy density physics with intense heavy ion and laser beams // Laser Part. Beams. - 2005. - Vol. 23. - P. 47.

27 Maiorov S.A. Computation of temperature and pressure fluctuations in the Coulomb system // High Temperature. 2014. - Vol. 52 (4). - P. 609-611.

28 Maiorov S.A., Tkachev A.N., and Yakovlenko S.I. Unexpected properties of classical coulomb plasma revealed by computer simulation ab initio// Mat. Model. - 1992. - Vol. 4 (7). - P. 3.

L. Spitzer, Physics of Fully Ionized Gases. - Interscience, N.Y. - 1967.

Принято к печати 3.02.19

Приложение1

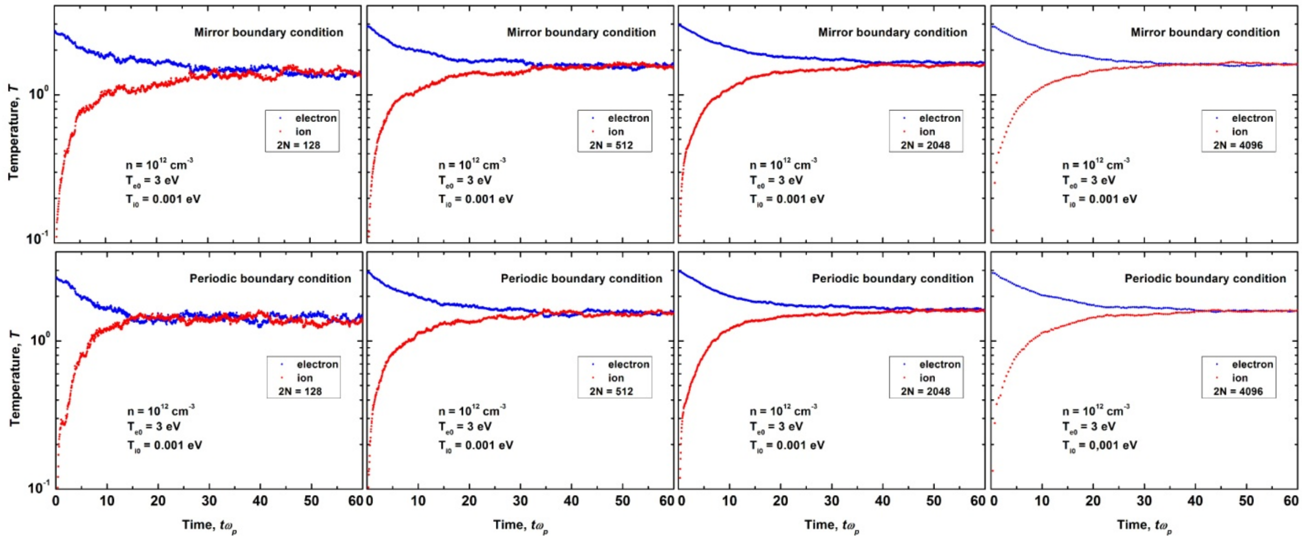


Рисунок 1 – Зависимости температур электронов и ионов для двух типов граничных условии и при различном числе частиц в системе: верхняя панель - зеркальные; нижняя панель - периодические.

Приложение 2

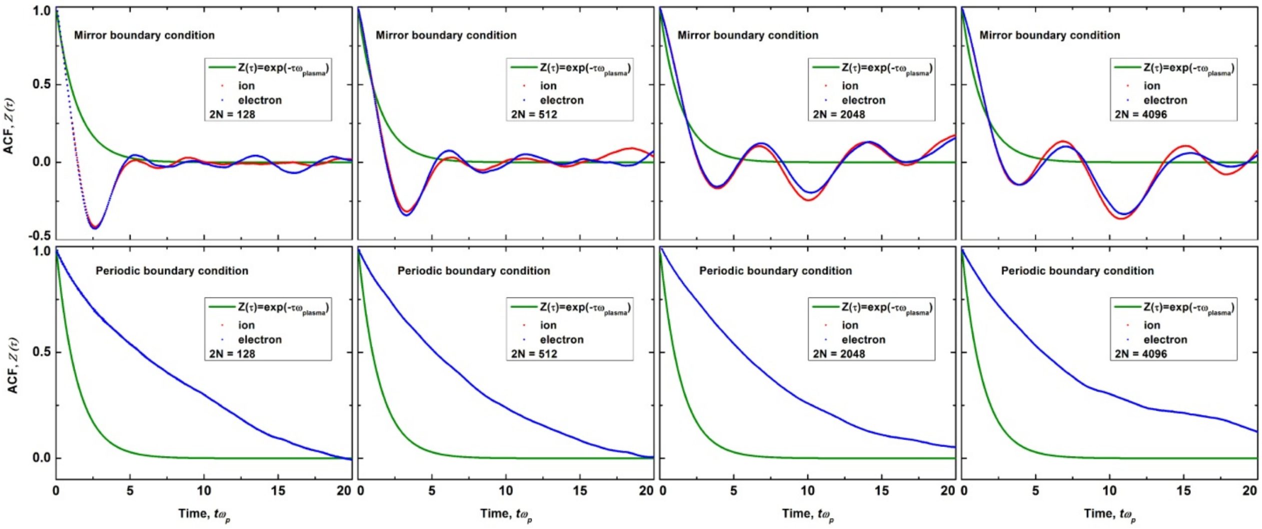


Рисунок 2 – Зависимости автокорреляционной функции потока для двух типов граничных условии и при различном числе частиц в системе: верхняя панель - зеркальные; нижняя панель - периодические; сплошная кривая - (7).

М.К. Исанова[1,*], С.К. Коданова[1], Т.С. Рамазанов[1], А.К. Хикметов[1], Р.И. Голятина[2], С.А. Майоров[2]

[1]*НИИЭТФ, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

[2]*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия*

*e-mail: mayorov_sa@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ПЛАЗМЫ ПОЗИТРОНИЯ

Аннотация. В работе методом молекулярной динамики исследованы релаксационные свойства полностью ионизованной, горячей, идеальной плазмы. В качестве примера рассмотрена классическая задача о выравнивании электронной и ионной температур при различных соотношениях масс, определены времена релаксации температур, исследованы влияние числа частиц и типа граничных условии на результаты моделирования. Проведено сравнение полученных результатов с существующими теоретическими результатами. При анализе автокорреляционных функции потока частиц одного знака в системе получены, что время распада корреляции в системе с зеркально отражающими граничными условиями имеют порядок величины обратной плазменной частоты, а для системы с периодическими граничными условиями - периода ленгмюрских колебаний. Также обнаружено, что в системе с периодическими граничными условиями время релаксации температур меньше, чем в системе с зеркально отражающими граничными условиями. Как следует из анализа результатов, влияние числа частиц на автокорреляционные функции потоков незначительно.

Ключевые слова: плазма, классическая кулоновская система, кулоновский логарифм, релаксация температур, отношение масс, метод молекулярной динамики, периодические граничные условия, зеркальные граничные условия, автокорреляционная функция тока.

М.К. Исанова, С.К. Коданова, Т.С. Рамазанов, А.К. Хикметов, Р.И. Голятина, С.А. Майоров

[1]*ЭТФҒЗИ, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан*

[2]*Ресей ғылым академиясының А.М. Прохоров атындағы жалпы физика Институты, Мәскеу, Ресей*

*e-mail: mayorov_sa@mail.ru

ПОЗИТРОНИЙ ПЛАЗМАСЫН МОЛЕКУЛАЛЫҚ ДИНАМИКА ӘДІСІМЕН МОДЕЛЬДЕУ

Аннотация. Жұмыста молекулярлық динамика әдісі арқылы плазманың иондалған, ыстық, керемет релаксациялық қасиеттері толығымен зерттелді. Мысалы, әр түрлі массалардағы электрондардың және иондардың температуралық қалыптасуының классикалық мәселесі қарастырылған, температура релаксациясының уақыты анықталған, сондай-ақ бөлшектер санының әсері және шекаралық шарттар түрлеріне модельдеу нәтижелері келтірілген. Алынған нәтижелер теориялық нәтижелермен салыстырылды. Жүйеде бір бөлшектердің ағынының автокорреляциялық функцияларын талдай отырып, шекаралық жағдайды айқындайтын жүйеде корреляциялық ыдырау уақытына Лэнгмюрдің ауытқу кезеңі, өзара плазма жиілігі және периодтық шекаралық шарттар анықталады. Сонымен қатар, периодтық шекаралық шарттармен жүйеде температураға қатысты релаксация уақыты шекаралық шарттарды анықтайтын жүйеге қарағанда қысқа. Нәтижелерді талдау кезінде ағынның автокорреляциялық функциясына бөлшектер санының әсері шамалы.

Түйін сөздер: плазма, классикалық кулондық жүйе, кулондық логарифм, температура релаксациясы, масса қатынасы, молекулалық динамика, периодтық шекаралық шарттар, айналық шекаралық шарттар, ток ағымының автокорреляциялық функциясы.

M.K. Issanova, S.K. Kodanova, T.S. Ramazanov, A.K. Khikmetov, R.I. Golyatina, S.A. Maiorov

[1]*IETP, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

[2]*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: mayorov_sa@mail.ru*

SIMULATION OF POSITRONIUM PLASMA BY THE MOLECULAR DYNAMICS METHOD

Abstract. In this paper, the relaxation properties of a fully ionized, hot, ideal plasma have been studied using the molecular dynamics method. As an example, a classical problem of equalization of the electron and positron temperatures for various mass ratios is considered, the relaxation times for temperatures are determined, and the influence of the number of particles and the type of boundary conditions on the simulation results is studied. The simulation results are compared with the available theoretical results. In this paper the molecular dynamics method has been used to study the problem of temperature relaxation in a classical Coulomb system. The dependence of the properties of such a system on the number of particles has been studied, and the cases of mirror and periodical boundary conditions have been considered. The analysis of the autocorrelation functions of the flux of particles of the same sign in the system showed that the correlation decay time in a system with mirror boundary conditions is reciprocal to the plasma frequency, and in a system with periodic boundary conditions it has the order of the Langmuir oscillation period. It was also found that in a system with periodic boundary conditions, the temperature relaxation time is shorter than in a system with mirror boundary conditions. follows from the analysis of the results, the influence of the number of particles on the autocorrelation flux functions is insignificant.

Keywords: plasma, classical Coulomb system, Coulomb logarithm, temperature relaxation, mass ratio, molecular dynamics method, periodic boundary conditions, mirror boundary conditions, autocorrelation flow function.

МРНТИ 29.17.43

В.М. Сомсиков [1,2]
[1] *Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан*
[2] *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*
e-mail: vmsoms@rambler.ru

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ НЕОБРАТИМОСТЬ В ПРИРОДЕ ХАОСА И ПОРЯДКА

Аннотация. На основе детерминированного решения проблемы необратимости рассмотрена природа возникновения структур и хаоса без использования каких-либо гипотез о случайных флуктуациях внешних ограничений. Показано, что необратимость детерминированного хаоса следует из уравнений динамики систем. Рассмотрено описание детерминированного динамического хаоса в дуальном фазовом пространстве. Такое фазовое пространство в соответствии с принципом дуализма симметрии в классической механике представляет собой два ортогональных фазовых подпространства. Первое фазовое пространство описывает динамику тела. Это описание представлено в макропеременных. Второе фазовое пространство описывает движение структурных элементов тела относительно его центра масс. Такое описание выполнено в пространстве микропеременных. Показано, что дуальное фазовое пространство позволяет описать характер стремления тела не только к равновесному состоянию, но и к аттрактору, определяемому внешними ограничениями. Обсуждается вопрос об универсальности процессов нарушения пространственно-временных симметрий. Эта универсальность объясняется общностью механизма эволюционной нелинейности для различных процессов спонтанного нарушения симметрии. Такое спонтанное нарушение симметрии имеет место при любом процесс возникновения новых систем или аттракторов.

Ключевые слова: динамика, эволюция, фазовое пространство, энтропия, необратимость, формализмы механики.

Введение. Длительное время основное препятствие на пути построения эволюционной картины мира было связано с тем, что современная фундаментальная физика описывает существующий мир, но не описывает *процессы эволюции, то есть, процессы возникновения, развития и преобразования мира* [1-6]. Это объясняется тем, что эволюция является необратимым процессом, а до недавнего времени механизм необратимости невозможно было описать в рамках фундаментальных законов физики. Поэтому было невозможно построить физическую картину мира, основной чертой которой является эволюция.

В процессе поиска решения проблемы необратимости вначале был найден ее вероятностный механизм [5, 6]. Он объяснялся существованием случайного внешнего воздействия на гамильтонову систему. Согласно теореме Пуанкаре, гамильтоновы системы обратимы. Но они экспоненциально неустойчива, поэтому для сколь угодно малого случайного возмущения всегда существует такое конечное время, что система отклонится от детерминированной траектории на любое наперед заданное расстояние в пределах доступного фазового пространства. Введение случайной величины возмущения в уравнения движения неустойчивых по Ляпунову систем эквивалентно нарушению детерминизма, а значит, нарушение обратимости. Но поскольку этот механизм необратимости имеет вероятностный характер, он не может ответить на вопросы: как порядок возникает из хаоса. Более того, не ясно, как строить физическую картину мира, в основах теории которой лежат вероятностные гипотезы.

Существование вероятностного механизма необратимости не означает отсутствие *детерминированного механизма необратимости* (ДМН). И действительно, такой механизм был относительно недавно предложен [7]. Он не только устранял проблемы, связанные с вероятностным объяснением необратимости. Он открывал возможности строить детерминированную эволюционную картину мира в рамках фундаментальных законов физики [7-11].

Основное препятствие на пути к ДМН было в следующем. Как известно, уравнение движения Ньютона для *материальной точки* (МТ) обратимо. Уравнения движения системы потенциально взаимодействующих МТ, а также уравнение Лиувилля, которые выводятся из уравнения Лагранжа или путем суммирования уравнений движения МТ, также обратимы [12, 13]. Из уравнения Лиувилля следует и известная теорема Пуанкаре о возврате [14]. То есть, в результате мы приходим к выводу об обратимости динамики гамильтоновых систем. Но здесь из внимания ускользал один, на первый взгляд, малозначительный вопрос: как учесть влияние на движение системы того, что работа внешних сил не только перемещает тело, но и меняет его внутреннюю энергию, например, в результате работы сил трения? При изучении этого вопроса оказалось, что для ответа на него нужно представить энергию тела в виде суммы энергии движения и внутренней энергии. Уравнение движения системы, соответствующее такому представлению энергии, оказалось не симметричным относительно времени. Причина состоит в том, что уравнения Лагранжа и Лиувилля выводятся при условии голономности связей. Но это условие не выполняется для неголономных систем, например, систем с трением. Но для получения уравнения движения из энергии, представленной в виде суммы энергии движения и внутренней энергии, условие голономности связей для системы не использовалось. Поэтому получаемое таким образом уравнение применимо для описания динамики систем с любыми связями. Это уравнение легло в основу механики *структурированной частицы* (СЧ), из которой следовал ДМН. В отличие от классической механики, построенной для бесструктурного тела, в механике СЧ вместо МТ для модели тела используется СЧ, которая представляла собой совокупность достаточно большого количества потенциально взаимодействующих МТ.

Существование ДМН в механике потребовало пересмотра механизма диссипации, а также проблемы взаимосвязи хаоса и порядка. Данная работа посвящена этим вопросам. С этой целью в ней кратко изложена природа механизма ДМН, предложено пояснение, почему детерминированный хаос возникает в результате нарушения симметрии времени при трансформации энергии движения во внутреннюю энергию. Рассмотрена универсальность закона нарушения симметрии времени. В соответствии с ДМН предложена природа детерминированного хаоса.

Механизм ДМН

Чтобы понять природу детерминированного хаоса, поясним ключевые идеи и понятия, которые использовались при обосновании ДМН.

Рассмотрим тело, скатывающееся по наклонной шероховатой поверхности под действием силы тяжести. В начальный момент его энергия равна потенциальной энергии. В процессе скатывания часть этой энергии идет на увеличение кинетической энергии. Она определяется скоростью движения его *центра масс* (ЦМ). Другая часть энергии идет на нагрев тела в результате преобразования энергии движения во внутреннюю энергию из-за работы силы трения. В результате энергия движения в каждой последующей точке положения ЦМ тела оказывается меньше, чем израсходованная потенциальная энергия на величину изменения внутренней энергии (здесь и далее поглощение энергии движения тела внешней средой не учитывается, так как этот учет ни чего принципиально не меняет).

Для данной задачи движение тела в рамках классической механики описывается эмпирическим уравнением, в котором сила трения пропорциональна скорости [12, 13]:

$$M\dot{V}_0 = -F_0 - \mu V \,, \qquad (1)$$

где M -масса тела, V_0-скорость ЦМ, $-F_0$-сила, действующая на ЦМ, μ- эффективный коэффициент трения. Здесь и далее силы выражаются через градиент потенциальной энергии.

Уравнение (1) из-за наличия эмпирического коэффициента трения не является детерминированным. Оно учитывает преобразование энергии движения во внутреннюю энергию, но не описывает сам процесс такого преобразования. Покажем, как можно найти аналитическое выражение этого коэффициента, опираясь на модель тела в виде СЧ [6].

Модель тела в виде СЧ следует из молекулярно-кинетической теории. Согласно этой теории тело можно представить в виде СЧ, состоящей из N потенциально взаимодействующих МТ. Не теряя общности, будем считать, что массы всех МТ, входящих в СЧ одинаковы и равны единице. Учтем, что любая скалярная сумма квадратичных функций вектора может быть представлена так [7]:

$$\sum_{i=1}^{N} r_i^2 = NR_0^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{N} (r_{ij})^2 / N \qquad (2)$$

Вектор r_i определяет положение одной из МТ в лабораторной системе координат с началом в точке O; $r_{ij} = r_i - r_j$; $i, j = 1,2,3...N$ - номера различных МТ, где i, j пробегают значения от 1 до N, причем $i \neq j$; вектор $R_0 = (\sum_{i=1}^{N} r_i\ ) / N$ определяет положение ЦМ для СЧ. Представим r_i так: $r_i = R_0 + \tilde{r}_i$, где вектор $\tilde{r}_i$ определяет положение МТ относительно ЦМ СЧ. Отсюда вектор скорости МТ: $v_i = V_0 + \tilde{v}_i$.

Было показано [10], что

$$\sum_{i=1}^{N} r_i^2 = NR_0^2 + \sum_{\substack{i=1 \\ i\neq j}}^{N} (\tilde{r}_i\ )^2 \qquad (3)$$

Это очень важное равенство для динамики тел. Из него вытекает, что внутренняя энергия и энергия движения независимы. Поэтому они соответствуют различным группам симметрии. Систему координат, в которой векторы координат и скоростей представлены в виде суммы векторов движения ЦМ и движения относительно ЦМ называют *дуальной системой координат* (*ДСК*). Поясним, что означает представление движения тела в ДСК.

Если СЧ представлена совокупностью МТ, то ее движение складывается из совокупности движений МТ. Причем движение каждой МТ представляет собой совокупность двух движений: движение вместе с ЦМ СЧ и движение относительно ЦМ. Поэтому в ДСК работа внешних сил по перемещению СЧ распадается на работу по увеличению скорости ЦМ и работу, по увеличению скоростей МТ относительно ЦМ. Это энергия эквивалентна энергии нагрева системы.

Внутренние движения всех МТ обладают тем свойством, что их суммарный импульс равен нулю. Переменные, определяющие внутреннюю энергию, называют *микропеременными*, а переменные, определяющие энергию движения, называют *макропеременными*. Покажем, как энергию системы МТ можно записать в ДСК через микро - и макропеременные [9].

Из (2) и (3) видно, что сумма энергий относительных движений МТ и энергия, определяемая суммой кинетических энергий движения МТ относительно ЦМ, совпадают. То есть, кинетическая энергия системы, представленная в ДСК, распалась на сумму кинетических энергий МТ относительно ЦМ и кинетическую энергию движения ЦМ системы. Аналогичным образом представим в ДСК потенциальную энергию системы. Потенциальная составляющая энергии движения равна суммарной энергии МТ в поле внешних сил. Потенциальная составляющая внутренней энергии СЧ состоит из энергий взаимодействий МТ и вклада, возникающего из-за неоднородности внешнего поля.

Согласно (2, 3) микро – и макропеременные независимы и принадлежат к двум различным группам симметрии. Это свидетельствует о наличии двух инвариантов, соответствующих двум группам симметрии, определяющим движение тел. С одной группой симметрии связана энергия движение тела, а со второй - внутренняя энергия. То есть, движение тела определяется его внутренней симметрией и симметрией пространства, в котором оно движется. Данное утверждение называется *принципом дуализма симметрии* (ПДС) [10].

Таким образом, в микро- и макропеременных энергия системы имеет вид:

$$E_N = E_N^{tr} + E_N^{ins} = const \qquad (4)$$

где $E_N^{ins} = T_N^{ins} + U_N^{ins}$ -внутренняя энергия СЧ; $T_N^{ins} = \sum_{i=1}^{N} m\tilde{v}_i^2 / 2$ -кинетическая составляющая внутренней энергии СЧ. Потенциальная составляющая внутренней энергии складывается из энергий взаимодействий МТ между собой - $U_N^{ins}(r_{ij}) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} U_{ij}(r_{ij})$. $E_N^{tr} = T_N^{tr} + U_N^{tr}$ - энергия движения, T_N^{tr} -кинетическая энергия движения системы, зависящая от макропеременных, U_N^{tr} - потенциальная энергия СЧ в поле внешних сил.

В соответствии с (4), закон сохранения энергии СЧ следующий: ***сумма энергии движения и внутренней энергии системы сохраняется вдоль ее траектории***.

Таким образом, в ДСК возникает разделение энергии системы на сумму ее энергии движения и внутренней энергии. Поясним необратимость динамики СЧ.

Из выражения для энергии (4) получим уравнение движения СЧ [11]:

$$M_N \dot{V}_N = -F_N^0 - \mu V_N, \qquad (5)$$

где $F_N^0 = -\sum_{i=1}^{N} F_i^0$; F_i^0-внешняя сила, действующая на i-ю МТ; $\mu = \dot{E}_N^{\text{int}} / (V_N^{max})^2$; F_{ij}-сила взаимодействия i и j МТ; $F_{ij}^0 = F_i^0 - F_j^0$; $\dot{E}_N^{\text{int}} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} v_{ij}(m\dot{v}_{ij} + F_{ij}^0 + NF_{ij})$.

Уравнение (5) записано в форме уравнения (1), но в нем коэффициент трения имеет аналитическую форму. В правой части первый член определяет внешнюю силу, приложенную к ЦМ. Работа этой силы меняет скорость СЧ. Второй член отличен от нуля только при неоднородности поля внешних сил. Он биссимметричный, так как зависит от микро - и макропеременных, принадлежащих группам симметрии тела и пространства. Второй член определяет преобразование энергии движения во внутреннюю энергию. *Такой вид уравнения (5) следует из того, что работа внешних сил делится на работу по перемещению системы, и на работу по изменению ее внутренней энергии.*

Как видно из уравнений (3), ускорение системы обращается в ноль, когда достигается скорость V_N^{max}, при которой вся работа внешних сил уходит во внутреннюю энергию. При этом выполняется равенство: $V_N^{max} F_N^0 = -\dot{E}_N^{\text{int}}$. Это уравнение Аристотеля. То есть, зная внешнюю силу, действующую на тело и его установившуюся скорость, определяем поглощаемую им энергию.

Если $\mu = 0$, то имеем: $M_N \dot{V}_N = -F_N^0$. Это уравнение Ньютона, согласно которому при отсутствии трения ускорение пропорционально внешней силе [12, 13].

Уравнение (5) получено в ДСК путем суммирования скалярных величин изменений со временем энергий каждой МТ и дифференцированием по времени суммарной энергии при условии ее сохранения. Изменения энергии всех МТ связаны со взаимодействиями МТ в поле внешних сил. Как известно, классическое уравнение движения СЧ выводится путем суммирования уравнений движения для каждой МТ [13]. Поэтому в нем нет членов, описывающих преобразование энергии движения СЧ в ее внутреннюю энергию, так как сумма изменений импульсов МТ относительно СМ равна нулю.

Из механики СЧ следует бесконечная делимость материи [8]. Она следует из того, что возникновение аттракторов, эквивалентных природным системам, возможно только при наличии диссипации. Но диссипация возможна только для систем. Если учтем, что мир эволюционировал от простого к сложному. Тогда приходим к выводу, что любые природные объекты являются системами.

Таким образом, при переходе от модели тела в виде МТ к модели тела в виде СЧ, т.е. в результате перехода *МТ*$\Rightarrow$*СЧ (с),* обратимая механика переходит в необратимую. Необратимость обусловлена нелинейной трансформацией энергии движения тела в его внутреннюю, тепловую энергию. Обратная трансформация тепловой энергии невозможна из-за закона сохранения импульса.

Нарушение симметрии времени

Инвариантность энергии движения МТ соответствует симметрии времени. Для уравнения движения МТ энергия движения сохраняется. Но согласно уравнению (5) *энергия движения СЧ в неоднородном поле внешних сил не сохраняется*. Это означает *нарушение симметрии времени. Такое нарушение симметрии связано с тем, что энергия движения тела в результате ее трансформации во внутреннюю энергию, обусловленную движением МТ относительно ЦМ, не сохраняется.* При этом полная энергия системы (4) сохраняется. *Нелинейности, отвечающие за нарушение пространственно-временных симметрий, были названы эволюционными* [10]. Эти нелинейности отсутствуют в рамках канонических формализмов классической механики, поскольку формализмы получены только для голономных систем при условии потенциальности коллективных сил [12, 13]. Эти условия не выполняются, например, для систем с трением или при фазовых переходах [15-17].

Как отмечено в работе [10], физическая сущность эволюционной нелинейности обусловлена тем, что прямой поток энергии движения во внутреннюю энергию описывается членами второго порядка малости. Но обратный поток энергии движения описывается членом четвертого порядка малости. Неравная нуля разница этих потоков определяет нарушение симметрии времени.

Еще в 1937 году Ландау предложил математическое описание спонтанного нарушения симметрии физических систем, например, при фазовых переходах второго рода [15]. Оно происходит при бесконечно малых изменениях значений управляющих параметров в окрестности линии фазовых переходов.

Для количественного описания спонтанного нарушения симметрии, Ландау ввел так называемый скалярный параметр порядка. С помощью такого параметра порядка Ландау эмпирическим путем определил вид разложения свободной энергии в области фазового перехода, представив его следующим образом [15-17]:

$$F(\varphi) = F_0 + V(a_2\varphi^2 / 2 + a_4\varphi^4 / 4 - h\varphi) \quad (6)$$

где $F(\varphi)$- термодинамический потенциал (энергия Гиббса), φ- склярный параметр порядка, a_2, a_4, h - эмпирические коэффициенты.

Это выражение, исходя из его графической формы, впоследствии было названо «мексиканской шляпой». Как впоследствии оказалось, оно описывает не только нарушение симметрии при фазовых переходах второго рода. Аналогичный вид разложения термодинамических потенциалов или скалярных функций, определяющих нарушение пространственно-временных симметрий, существует при описании нарушения суперсимметрии, сверхпроводимости, а также для описания процессов рождения частиц и появление массы и т.п. [19]. Универсальность такого вида свидетельствует, что *нарушение любого типа симметрии связано с эволюционной нелинейностью, описывающей преобразования одного типа энергии, являющейся ивариантом соответствующей группы симметрии, в другой.* То есть, как и в случае нарушения симметрии при фазовых переходах второго рода, оно описывает нарушение симметрии времени при ДМН. Если отталкиваться от природы эволюционной нелинейности, то такая универсальность объясняется тем, что все нарушения симметрии являются чисто нелинейными процессами, при которых нарушение инварпиантности , например, двух типов энергии, соответствующих групп симметрии, происходит при условии сохранения их суммарной энергии.

Все это указывает на то, что природа ДМН, природа любого типа нарушения симметрии универсальна, включая механизм нарушения симметрий, определяющий природу происхождение массы по сценарию Хиггса [19].

Но если существует универсальный вид функции нарушения симметрии при различных физических процессах, то можно ожидать и универсальность некоторых характеристи самого процесса нарушения симметрий. Так, согласно ДМН нарушение симметрии времени происходит через увеличение внутренней энергий хаотического движения элементов системы.

О природе хаоса и порядка

ДМН связан с увеличением энергии хаотического движения элементов системы за счет упорядоченной ее энергии движения. Как известно, в природе существует два типа хаоса. К первому типу относится хаос, имеющий чисто вероятностную природу. Состояние системы с таким хаосом непредсказуемо и не может быть задано детерминированным уравнением. Его типичным примером является белый шум [18]. Суть этого хаоса в том, что он описывается вероятностными законами. Размерность такого хаоса бесконечная. В дальнейшем, будем называть его стохастическим хаосом, что в переводе с греческого означает случайный или вероятностный хаос.

Ко второму типу относится детерминированный хаос. Этот хаос назван детерминированным, поскольку он характеризует движения детерминированных систем, определяемые строгими уравнениями динамики. Он был открыт значительно позже стохастического хаоса [18, 20]. Как оказалось, даже динамика осциллятора в определенных точках фазового пространства имеет решение практически неотличимое от стохастического хаоса. Но в отличие от стохастического хаоса, детерминированный хаос имеет конечную фрактальную размерность [18].

Согласно теореме Пуанкаре о возврате для гамильтоновых систем динамический хаос обратим. Долгое время наблюдаемая в реальной природе необратимость гамильтоновых систем объяснялась всегда присутствующими случайными воздействиями. Это объясняло тот факт, что фазовые траектории гамильтоновых систем не возвращаются в любую сколь угодно малую окрестность исходной точки. То есть, объяснения необратимости опиралось на ее вероятностный механизм. Однако существование ДМН коренным образом меняет представления о механизме хаоса. Действительно, ДМН носит детерминированный характер и не требует наличия случайных внешних воздействий на систему. Это означает, что движение системы к равновесию описывается полностью детерминированными уравнениями. Оставляя в стороне обширную литературу об открытии детерминированного хаоса [14, 18, 20], о проблемах на пути развития математического аппарата для его описания, кратко поясним природу детерминированного хаоса, которая следует из ДМН [11].

Согласно принципу дуализма симметрии динамика тел определяется как его симметрией, так и симметрией пространства. Отсюда следует, что для определения динамики тела его энергию необходимо представить суммой энергии движения и внутренней энергией. Ключевым свойством внутренней энергии любой системы является равенство нулю суммы импульсов ее элементов. Реализация такого условия происходит через хаотическое движение элементов системы.

Из условия бесконечной делимости материи и механики СЧ следует, что в достаточно широких пределах общности все тела представляют собой ОНДС [11]. Рассмотрим случай, когда для изучаемого процесса можно пренебречь внешними воздействиями на ОНДС. То есть, рассмотрим неподвижную ОНДС в термостате. Тогда ее можно рассматривать как НС, заданную совокупностью перемещающихся относительно друг друга СЧ. Сумма импульсов СЧ равна нулю. Это означает, что направления векторов импульсов для всех СЧ имеет изотропный характер.

Установление равновесия в НС связано со стремлением к нулю относительных скоростей СЧ. Равновесие соответствует нулевым значениям относительных импульсов подсистем, на которые произвольным образом может быть разбита система. Отсюда понятия абсолютного хаоса и равновесия соответствуют равенству нулю энергий относительных движений таких подсистем. То есть, идеальное равновесие или абсолютный хаос соответствует случаю, когда для любой достаточно большой выделенной из системы подсистемы энергия ее движения относительно других частей системы равна нулю. Процесс установления равновесия описывается уравнением движения (5). Отметим, что в природе абсолютный или идеальный хаос не встречается, поскольку все природные системы являются ОНДС. Абсолютный хаос – приближение, когда можно пренебречь диссипативными процессами.

Рассмотрим теперь случай, когда внешние ограничения неоднородны и нестационарные. Только при наличии таких ограничений существуют стационарные ОНДС, представляющие собой совокупность аттракторов. Такую совокупность аттракторов можно рассматривать как иерархическую лестницу сложных структур, когда одни, более простые ОНДС, являются составными элементами верхней ступени иерархической лестницы для ОНДС. Стационарность такой сложной ОНДС обеспечивается равенством входящих и исходящих потоков энергии, вещества, энтропии для каждой ступени иерархической лестницы [11]. То есть, в природе неравновесность и порядок соответствуют аттракторам. Аттрактор возникает через хаос при разрушении старого аттрактора в результате изменений внешних условий или эволюции системы. Такой процесс наблюдается, к примеру, при фазовых переходах, когда состояние системы с одним типом симметрий сменяется на ее состояние с другими типами симметрий.

Дуальное фазовое пространство

Для изучения процессов установления порядка или хаоса все системы необходимо рассматривать, в виде ОНДС, поскольку все эволюционные процессы в системах связаны с изменениями внешних ограничений. Например, фазовые переходы могут возникать при изменении температуры окружающей среды. В соответствии с этим возникают вопросы, какой порядок может возникнуть при тех или иных внешних ограничениях. Очевидно, что для ответа на эти вопросы нужно знать, какие устойчивые состояния существуют в доступном пространстве параметров внешних ограничений для рассматриваемых систем. Более того, необходимо знать, каков возможный путь системы к тому или иному аттрактору, то есть, каков сценарий пространственно-временных изменений внешних ограничений, чтобы система пришла к заданному аттрактору. Изучение этих вопросов можно выполнить, опираясь на методы фазовых портретов.

Для систем классической механики в качестве фазового пространства удобно брать дуальное фазовое пространство [21]. В отличие от обычного фазового пространства, это пространство позволяет учесть принцип дуализма симметрии. Поясним его суть.

В общем случае природные системы являются ОНДС. В простейшем, но учитывающем все основные эволюционные свойства, *ОНДС* можно представить в виде совокупности СЧ, обладающих внутренней энергией и энергией движения. То есть, энергия каждой МТ, входящей в СЧ, обладает энергией хаотического движения, обуславливающей внутреннюю энергию СЧ, и энергией, которая вносит в клад в энергию движения СЧ. Следовательно, энергию *ОНДС* в общем случае нужно представить так: $E=\sum_{i=1}^{R}(E_i^{tr}+E_i^{ins})$. Эволюция замкнутой ОНД происходит при условии сохранения полной энергии системы: $\sum_{i=1}^{R}(E_i^{tr}+E_i^{ins})=const$. Отсюда следует, что фазовое пространство, которое позволяет анализировать процессы эволюции **ОНДС,** нужно представлять в виде двух подпространств, соответствующих внутренней энергии и энергии движения.

Рассмотрим наиболее простейший случай, когда можно пренебречь внешним воздействием на ОНДС. В случае, когда внешним воздействием на ОНДС можно пренебречь, для нее имеет место условие:

$$(\sum_{i=1}^{R}E_i^{tr}/E_i^{ins})_{t\to\infty}\to 0 \qquad (2),$$

где $i=1,2,3...R$, R –число СЧ, входящих в *ОНДС*, E_i^{tr},E_i^{ins} - энергия относительного движения и внутренняя энергия i-той СЧ.

Величина $(\sum_{i=1}^{R}E_i^{tr}/E_i^{ins})=\Theta$ характеризует степень неравновесности **ОНДС**.

Поскольку **ОНДС** можно представить совокупностью движущихся относительно друг друга СЧ, то состоянию **ОНДС** можно поставить в соответствие точку в фазовом пространстве $(6R-1)$ измерений, где R – количество СЧ, входящих в **ОНДС**. То есть, положение каждой СЧ задается тремя координатами и тремя компонентами импульсов их ЦМ. Это пространство задается в макропеременных, определяющих координаты и импульсы СЧ. Оно было названо *S–пространством* [10]. В этом пространстве однозначное соответствие состояния и точки фазового пространства будет до тех пор, пока диссипацией можно пренебречь.

При наличии диссипации внутренняя энергия ОНДС будет расти за счет энергии относительного движения СЧ. То есть, каждой точке S–пространства уже будут соответствовать состояния с разными значениями внутренней энергии. Эта неоднозначность устраняется, если S - пространство дополнить D-пространством микропеременных, определяющих внутренние энергии СЧ. Такое дуальное пространство назовем *SD – пространством*. Основным отличием *SD*-пространства от обычного фазового пространства является то, что оно построено путем разделения энергии каждой МТ на две части. Одна часть соответствует вкладу МТ в энергию относительного движения СЧ, а другая часть соответствует вкладу МТ во внутреннюю энергию СЧ.

Таким образом, состояние *ОНДС* в заданный момент времени определяется двумя точками в S и D пространствах. То есть, состоянию *ОНДС* соответствует точка в плоскости, определяемая двумя S и D векторами. Причем длина S - вектора определяется модулем вектора точки S – пространства. Модуль этого вектора пропорционален сумме энергий относительного движения СЧ. Длина D – вектора определяет соответствующую точку D -

пространства. Очевидно, что длина D – вектора пропорциональна внутренней энергии ***ОНДС***, равной сумме внутренних энергий СЧ.

При движении **ОНДС** к равновесию, модуль S –вектора стремится к нулю, поскольку стремится к нулю энергия относительных движений СЧ, а модуль D – вектора растет. Если **ОНДС** консервативна, то должно выполняться условие:

$$S^2+D^2=const \qquad (3)$$

Это условие эквивалентно закону сохранения энергии. Условие (3) можно записать так: $ZZ^*=const$, где $Z=S+iD$, i-мнимая единица. Так как при любых преобразованиях S и D векторов сумма энергий движения СЧ и их внутренних энергий сохраняется, то состоянию ОНДС соответствует точка комплексной плоскости, определяемая числом: $Z=S+iD$. Для векторов S,D выполняется условие: $\varphi=arctg(D/S)$. В равновесном состоянии имеем: $\varphi=\pi/2$. Поскольку выполняется условие (3), модуль вектора точки в SD-пространстве является инвариантом.

Энергия СЧ может быть представлена суммой энергии ее движения и внутренней энергии, в которые вносит вклад каждая МТ. В этом для фазового пространства можно записать:

$$\int\limits_{\Delta_0^S} dq_0^S dp_0^S + \int\limits_{\Delta_0^D} dq_0^D dp_0^D = \int\limits_{\Delta_t^S} dq_t^S dp_t^S + \int\limits_{\Delta_t^D} dq_t^D dp_t^D \qquad (4)$$

Здесь q_0^S, p_0^S - координаты и импульсы СЧ, образующие элемент фазового объема Δ_0^S в начальный момент времени; q_0^D, p_0^D - координаты и импульсы МТ относительно ЦМ СЧ, заполняющие элемент фазового объема Δ_0^D в начальный момент времени; q_t^S, p_t^S - координаты и импульсы СЧ , а Δ_t^S фазовый объем, занимаемый ими спустя время t; q_t^D, p_t^D - координаты и импульсы МТ относительно ЦМ СЧ, заполняющие элемент фазового объема Δ_t^D в момент времени t.

Эволюция фазового объема идет при выполнении условия: $\Delta_0^S+\Delta_0^D=\Delta_t^S+\Delta_t^D$ (в), которое эквивалентно закону сохранения энергии. Из-за трансформации энергии относительных движений СЧ в их внутреннюю энергию, будем иметь место следующее условие:

$$(\Delta_t^S/\Delta_t^D)_{t\to\infty}\to 0 \qquad (5)$$

Скорость изменения Δ_t^S определяется Д- энтропией - S^d [10], которая является отношением изменения внутренней энергии системы за счет энергии ее движения, к величине внутренней энергии. В случае ОНДС представленных совокупностью СЧ, можно записать: $\frac{d}{dt}\sum_{i=1}^{R} E_i^{tr} = T\frac{d}{dt}S^d$, где T- температура СЧ, определяемая составляющей внутренней средней кинетической энергии.

Если система бездиссипативна, то в этом случае $\frac{d}{dt}S^d=0$, и S – пространство совпадает с обычным фазовым пространством.

Главным достоинством SD-фазового пространства является то, что оно позволяет проследить характер изменения внутренней энергии, который определяет движение системы к аттрактору.

В общем случае эволюция ОНДС определяется внешними ограничениями. И в этом случае ее эволюция также будет определяться в SD – пространстве, если мы задаем систему совокупностью СЧ. Но фазовая траектория будет определяться не только диссипативными процессами, как в случае замкнутой ОНДС, но и характером внешних ограничений, которые следует задавать функционалом $\Phi(\alpha,\beta,...\zeta,t)$. Причем для ОНДС с обратными связями этот функционал будет зависеть, как от внутренних свойств системы, так и от внешних характеристик среды.

Заключение.

Структурированные тела состоят из элементов. Каждый элемент тела участвует в двух типах движения. Один тип движения связан с перемещением ЦМ тела. Второй тип движения определяется перемещением элемента относительно ЦМ. Такое разделение движения элементов тела обусловлено тем, что его динамика определяется как симметриями пространства, так и симметриями самого тела. Если изучать динамику тела в классическом фазовом пространстве, соответствующем лабораторной системе координат, то описать такое разделение энергии невозможно. Чтобы графически отобразить эти два различных типа движения, фазовое пространство следует разделить на два независимых подпространства: подпространство макропеременных, которое было названо *S* - пространством, и подпространство микропеременных, которое было названо *D* - пространством. *S* – пространство отображает движение тела, а *D* – пространство отображает движение элементов тела относительно ЦМ. Объединением этих подпространств является дуальное *SD* – пространство. *SD* – пространство однозначно определяет движение структурированного тела. При отсутствии изменений внутренней энергии тела, S – пространство совпадает с классическим фазовым пространством.

Дуальное фазовое пространство позволяет характеризовать процесс установления равновесия в ОНДС. Точки *S* – пространства характеризуют движение равновесных подсистем, совокупностью которых можно представить неравновесную систему. Точка в *D*-пространстве характеризует внутренние движения элементов подсистем. Процесс преобразования регулярного движения в хаотическое определяется уменьшением модуля вектора точки *S* – пространства и ростом модуля вектора точки *D*- пространства.

Ортогональность *S* и *D* пространств позволяет ввести комплексное число *Z*, характеризующее точку *SD* – пространства, соответствующую двум *S* и *D* векторам. Характер эволюции системы к равновесию определяется углом: $\varphi = arctg(S/D)$. Стремление этого угла к нулю соответствует стремлению системы к равновесию.

Предложенная модификация фазового пространства особенно может быть полезной при анализе процессов эволюции систем к равновесным состояниям.

Исходя из универсального вида функции нарушения симметрии при различных физических процессах и природы ДМН, природа любого типа нарушения симметрии, включая механизм нарушения симметрий, определяющий природу происхождение массы по сценарию Хиггса, обладает универсальностью. Следовательно, можно ожидать и универсальность характеристик процесса нарушения симметрий. Эта универсальность определяется тем, что нарушение симметрий связано с преобразованием одного типа энергии, соответствующей данному типу симметрии, в другой тип энергии.

Список литературы:

1. Anderson P. W. More Is Different Science, New Series, Vol. 177, No. 4047. (Aug. 4, 1972), pp. 393-396

2. Hooft G. W’t. Light is Heavy. arXiv:1508.06478v1 [physics.hist-ph] 26 Aug 2015

3. Hooft G. W’t. Free will in the theory of everything arXiv:1709.02874v1[quant-ph]8 Sep 2017

4. Callaway H.G. Fundamental Physics, Partial Models and Time's Arrow. Dec.2016 https://www.researchgate.net/publication/296327588.

5. Пригожин И. От существующего к возникающему. М., Наука, 1980, 342 с.

6. Пенроуз Р. Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель. М. Ижевск: 2007. 912 с.

7. Somsikov V.M. Irreversibility and physics of evolution. Chaotic Modeling and Simulation *(CMSIM)* 1: 47-61p, (2018); Deterministic mechanism of irreversibility. Journal of Advances in Physics. V. 14. Is. 3. 5708-5733p. (2018), DOI: 10.24297/jap.v14i3.7759 ISSN: 2347-3487

8. Somsikov V.M. Problems of Evolution of Open Systems. PEOS. 9(2). 2007. С.5-16.

9. Somsikov V.M. Deterministic mechanism of irreversibility. Journal of Advances in Physics. V. 14. Is. 3. 5708-5733p. DOI: 10.24297/jap.v14i3.7759 ISSN: 2347-3487

10. Somsikov V. M. To the basics of the physics of evolution. Almaty. 2016. 306 p.

11. Somsikov V.M. Deterministic irreversibility and the matter structure. Journal of Advances in Physics. V. 16. (2019) ISSN: 2347-3487 http://cirworld.com/index.php/jap p. 21-33.

12. Ланцош К. Вариационные принципы механики. М.: Мир, 1962. 408 с.

13. Голдстейн Г. Классическая механика. М. Наука. 1975. 416 с;

14. Zaslavsky G.M. The physics of chaos in Hamiltonian systems. London. Imperial College Press. 2007. 269 p.

15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М. Наука. 1976.583 с.
16. Ландау. Л.Д., К теории фазовых переходов. I.*ЖЭТФ,* 7, (1937). с.19
17. Ландау. Л.Д. К теории фазовых переходов. II *ЖЭТФ,* 7, 1937, с.627
18. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. М. Наука. 1990. 272 с
19. Bernstein Jeremy. A question of mass. Am. J. Phys. 79 . 1 , January 2011. P. 25-31.
20. Chirikov B.V.Resonance processes in magnetic traps. Atom.energy.V.6(6).1959. P.630-638.
21. Сомсиков В.М., Андреев А.Б., Мохнаткин А.И, Капытин В.И. Дуальное фазовое пространство неравновесной системы. ПЭОС Вып.20.Т.1. 2018 с. 12-18

Принят а к печат и 4.04.2019

В.М. Сомсиков [1,2]
[1] *Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан*
[2]*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*
e-mail: vmsoms@rambler.ru

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ НЕОБРАТИМОСТЬ В ПРИРОДЕ ХАОСА И ПОРЯДКА

Аннотация. На основе детерминированного решения проблемы необратимости рассмотрена природа возникновения структур и хаоса без использования каких-либо гипотез о случайных флуктуациях внешних ограничений. Показано, что необратимость детерминированного хаоса следует из уравнений динамики систем. Рассмотрено описание детерминированного динамического хаоса в дуальном фазовом пространстве. Такое фазовое пространство в соответствии с принципом дуализма симметрии в классической механике представляет собой два ортогональных фазовых подпространства. Первое фазовое пространство описывает динамику тела. Это описание представлено в макропеременных. Второе фазовое пространство описывает движение структурных элементов тела относительно его центра масс. Такое описание выполнено в пространстве микропеременных. Показано, что дуальное фазовое пространство позволяет описать характер стремления тела не только к равновесному состоянию, но и к аттрактору, определяемому внешними ограничениями. Обсуждается вопрос об универсальности процессов нарушения пространственно-временных симметрий. Эта универсальность объясняется общностью механизма эволюционной нелинейности для различных процессов спонтанного нарушения симметрии. Такое спонтанное нарушение симметрии имеет место при любом процесс возникновения новых систем или аттракторов.

Ключевые слова: динамика, эволюция, фазовое пространство, энтропия, необратимость, формализмы механики.

V.M. Somsikov[1,2]
[1] *Institute of the Ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan*
[2] *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*
e-mail: vmsoms@rambler.ru

DETERMINISTIC IRREDUCIBILITY IN THE NATURE OF CHAOS AND ORDER

Abstract. On the basis of a deterministic solution to the problem of irreversibility, the nature of the occurrence of structures and chaos is considered without using any hypotheses about random fluctuations of external constraints. It is shown that the irreversibility of deterministic chaos follows from the equations of the dynamics of systems. The description of deterministic dynamic chaos in the dual phase space is considered. Such a phase space, in accordance with the principle of the dualism of symmetry in classical mechanics, is two orthogonal phase subspaces. The first phase space describes the dynamics of the body. This description is presented in macro variables. The second phase space describes the movement of the structural elements of the body relative to its center of mass. Such a description is made in micro-variable space. It is shown that the dual phase space allows us to describe the nature of the body's tendency not only to the equilibrium state, but also to the attractor, which is determined by external constraints. The question of the universality of the processes of breaking space-time symmetries is discussed. This universality is explained by the common mechanism of the evolutionary nonlinearity for various processes of spontaneous symmetry breaking. Such spontaneous symmetry breaking occurs with any process of the emergence of new systems or attractors.

Keywords: dynamics, evolution, phase space, entropy, irreversibility, formalism mechanics.

В.М. Сомсиков [1,2]

[1] *Ионосфера институты, Алматы, 050020, Қазақстан*

[2] *Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қ-сы, Қазақстан*

e-mail: *vmsoms@rambler.ru*

ХАОС ЖӘНЕ ТӘРТІП ТАБИҒАТЫНДАҒЫ ДЕТЕРМИНИРЛЕНГЕН ҚАЙТЫМСЫЗ

Аннотация. Қайтымсыз проблеманы детерминирленген шешу негізінде сыртқы шектеулердің кездейсоқ флуктуациялары туралы қандай да бір гипотезаларды пайдаланбай құрылымдар мен хаостардың пайда болу табиғаты қарастырылды. Көрсетілгендей, бұл мызғымастығын детерминделген хаос керек теңдеулер жүйе динамикасы. Дуалды фазалық кеңістіктегі детерминирленген динамикалық хаостың сипаттамасы қарастырылды. Классикалық механикадағы симметрия дуализм принципіне сәйкес мұндай фазалық кеңістік екі ортогональды фазалық кеңістікті білдіреді. Бірінші фазалық кеңістік дененің динамикасын сипаттайды. Бұл сипаттама макроайнымалык ұсынылған. Екінші фазалық кеңістік дененің құрылымдық элементтерінің массаның ортасына қатысты қозғалысын сипаттайды. Мұндай сипаттама микроайнымалык кеңістікте жасалған. Дуалды фазалық кеңістік дененің тек тепе-тең жағдайға ғана емес, сыртқы шектеулермен анықталатын аттракторға да ұмтылу сипатын сипаттауға мүмкіндік береді. Кеңістіктік-уақыттық симметриялардың бұзылу процестерінің әмбебаптығы туралы мәселе талқыланады. Бұл әмбебаптылық симметрияның спонтанды бұзылуының түрлі процестері үшін эволюциялық бейсызық механизмінің ортақтығымен түсіндіріледі. Симметрияның мұндай спонтанды бұзылуы жаңа жүйелердің немесе аттракторлардың кез келген пайда болу процесі кезінде орын алады.

Түйін сөздер: динамика, эволюция, фазалық кеңістік, энтропия, қайтымсыз, механиканың формализмдері.

ҒТАМР 41.25.15

Д.А. Алимбетова, А.Т. Агишев*, С.А. Хохлов
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,
Алматы, 050040, Қазақстан
**E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com*

ОРИОН ТҰМАНДЫҒЫНДАҒЫ ИНТЕГРАЛ ФОРМАЛЫ ЖІПШЕСІНІҢ НЕГІЗГІ ЖОТАСЫ БОЙЫНДАҒЫ ТУРБУЛЕНТТІЛІК ПЕН ӨЗҚАУЫМДЫЛЫҚ

Аннотация. Ұсынылған жұмыста Орион бұлтында орналасқан интегралды формадағы жіптің негізгі жотасының радио бақылауларының информациялық энтропиялық талдауы жүргізілді. Осыған дейін зерттелген аймақтың кинематикасы ИФЖ жотасының бойындағы жылдамдықтардың жергілікті минимумының жанында тығыз жұлдызды ядролардың орналасқанын көрсетті. Осы жұмыста мұндай бағалау NH_3, ^{12}CO, ^{13}CO, N_2H+ элементтері үшін нормаланған информациялық-энтропия арқылы жасалды және жұлдызды ядролардың энтропия мәндері $I_1 < S/S_{max} < I_2$ аралығына тиіс екенін анықталып, олардың өзқаумды құрылымдар екені табылды.

Ақпараттық энтропия молекулалық тұмандықтарда құрылымның турбуленттілігі мен өзқауымдығын бағалау критерийлері ретінде қарастырылады, бұл өз кезегінде болашақта жас жұлдыздардың бесігі бола алатын, тығыз ядролардың қалыптасуына алып келетін процесстерді бағалауға мүмкіндік береді. Қандай да трассер түрі таңдалғанына тәуелсіз протокластерлердің аумақтары үшін есептелген энтропия өзқауымды мәндеріне ие. Бұл бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардағы бүкіл газға таралатын турбуленттік ағынның әмбебап қозғалысымен байланысты. Ақпараттық энтропияның нормаланған мәндері үшін ұсынылған классификация әдістері өзқауымды, турбулентті қозғалыс тән аумақтарға белсенді түрде қолданыла алады. Болашақта бұл әдіс арқылы жұлдыздар қалыптасуы орын алатын аймақтарды іздеп, анықтауға қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Информация, энтропия, турбуленттілік, өзқауымдылық, молекулалық тұмандықтар.

Кіріспе

Орион А тұмандықтарындағы «интегралдық форма жіпшесі» (ИФЖ) сияқты жіптәріздес кластерлер жүйесі, өздігінен кластерлердің қалыптасу процессін түсінуінде бірегей мүмкіндік береді. Орион комплексі – бұл ең жақын ораласқан және жоғары массалы жұлдыздар қалыптасу аумағының ең көп зерттелген аумағы болуы мүмкін. Орион А Орион комплексінде [1,2] орналасқан ең ірі молекулалық тұмандықтар(~31,5 град^2) болып келеді. ИФЖ – бұл Орион А кометалық тұмандықтардың солтүстік бөлігіндегі ықшам жота [3]. Оны 383 пк [4] арақашықтықта сызықтық ажыратқыштық қасиеті жақсы болып келетін, өлшемі кішіректеу радиотелескоппен де бақылауға болады. Орион А тұмандығы Ғалам жазықтығынан шамамен 15 градусқа төмен орналасқан, осыдан шуыл фонының азаюы туындайды, ал ол өз кезегінде Ғалам жазықтығының бойында көбінесе кездеседі.

Бақылаулар мен мәліметтер дереккорының мұрағаты

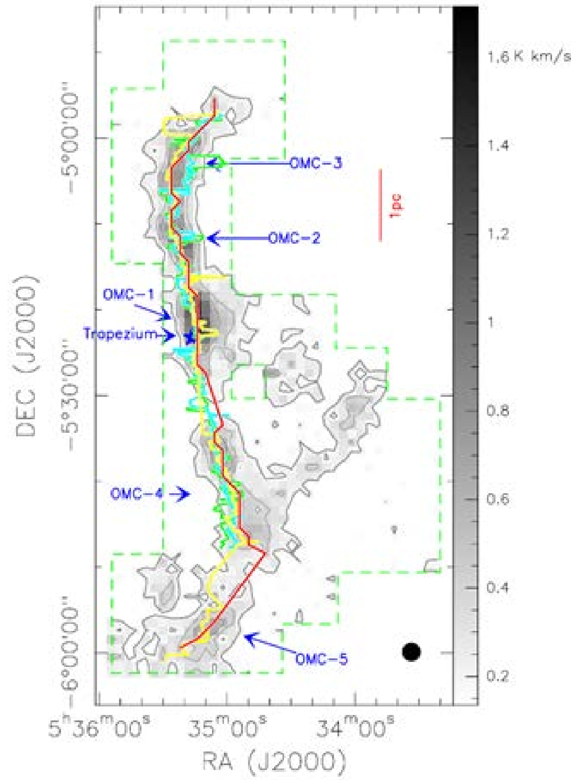
Осы жерде ұсынылған NH_3 (23,694495ГГц) толқын ұзындығындағы ИФЖ бақылаулары 2014 жылдың қаңтар айында және 2017 жылдың шілде-тамыз айларында Қытай ғылым академиясының Синьцзян астрономиялық обсерваториясымен басқарылатын 25-метрлік радиотелескоптан алынды. Бұл телескоптағы сәуле ені (максимумнің жартысы болғанда толық ені, FWHM) шамамен 2' (383 парсек қашықтықта 0,22 парсек) және 23 ГГц жиілікте 0,098 км/с жылдамдығы бойынша ажыратқыштық қасиетке ие болып келеді, оны өткізу жолағының 64МГц режимінде 8192 арналы сандық фильтрдан аламыз. Спектрлік ағын периодтты түрде калибрленген, әрбір 6 секунд сайын шуыл диодынан сигнал беріліп тұрды. Телескопты дәлдеу және басқару 18 сек.доғасынан кем емес болу керек. 23 ГГц жиілік кезінде жүйелі температурасы шамамен 50°К болатын қабылдаушы аспап ретінде 22-24,2 ГГц жиілікті қосарлы поляризацияланған арналы супергетеродин қолданылды. Карталар ауа-райы жақсы болғанда және биіктігі көкжиектен 20° жоғары кезде тор өлшемі 6' да 6' болатындай және 30" қадаммен on-the-fly (OTF) тәртібінде жинақталынды және қолданылды.

^{12}CO және ^{13}CO спектрлер деректер қорынан алынған, сонымен қатар 2008 жылдың наурыз,сәуір және қазан айларында Пико-Велетадағы IRAM 30 м телескобында бақыланды. Мәліметтер HEterodyne Receiver Array (HERA – ол қосарлы поляризацияланған, 24" аралықпен 3 те 3 тор формасында орналастырылған тоғыз қабылдағыштардан тұрады) сәуле ені шамамен 11" (383 пк шақырымына 0,02 пк) болатын 230,5 ГГц жиілігіндегі ^{12}CO (2-1) жолағына және 220,4 ГГц жиілігіндегі ^{13}CO (2-1) жолағына дәлденген қабылдағыштар блогі арқылы әр поляризациядан жинап алынды. ^{12}CO (2-1) және ^{13}CO (2-1) үшін негізгі сәуленің эффективтілігі 0,524 және сәйкесінше 0,545 болады. Қосалқы құрылғы ретінде VErsatile Spectrometric and Polarimetric Array (VESPA) қолданылды, оның спектрлік ажыратқыштық қасиеті 320 кГц (яғни 0,4 км/с). Карталар тігінен өрлеу кезінде 5" тандау жасалынумен және төмен түсру кезіндегі 12" қадаммен OTF тәртібін қолдану арқылы жиналынды.

Берілген N_2H+ (1-0) бақылаулар 93,1737767 ГГц болғанда Нобейама Радиостанциясындағы 45-метрлік радиотелескопты қолдану арқылы 2005 жылдың мамырдың 11-нен бастап мамырдың 20-на дейін және 2007 жылдың наурыздың 4-нен 9 аралығында жүргізілді. Қолданылатын BEARS қабылдағышы фокалдық кеңістіктегі 25-элементтік кесте болып келеді. BEARS элементтер шоғы үшін қуаттың жартысы болғанда сәуле ені 17,8" ± 0,4" (383 пк қашықтықта 0,03 пк) болады, ал 93 ГГц жиілікте спектрлік ажыратқыштық қасиеті 37,8 кГц (ол 0,12км/с сәйкес) болады. (Tatematsu K. et al. N_2H+ and HC_3N Observations of the Orion A Cloud//Publs of the Astronomical Society of Japan. –2008.– Т.60.–№.3.–С.407-419.).

Нәтижелер

Жылдамдықты-интегралды интенсивтілік жолағы (нөлдік момент) бар NH_3 (1,1) картасы сұр реңк түрінде және 1 суреттегі сұлба түрінде ұсынылған.



Әр панелдің интегралдану жылдамдығының аумағы 6,5-тен 12,5-км/с аумақты құрайды. Сұлбалар 0,18°К*км/с (4σ) мәнінен басталынады және 0,18°К*км/с қадаммен көтеріледі. Қарастырылатын аумақ шекарасы жасыл пунктирлі сызықтармен белгіленген.Әр панелдегі жасыл жұлдыз Трапеция кластерін көрсетеді, ал астындағы оң жақта орналасқан қара толтырылған дөңгелектер қуаттың жартысы болғандағы сәуле өлшемін көрсетеді. NH_3 (қызыл), ^{12}CO (жасыл), ^{13}CO (көгілдір) және N_2H+ (сары)-дағы [8] жұмыстарынан алынған Центрлік жоталар NH_3 (1,1) нольдік момент картасының үстінен салынған.

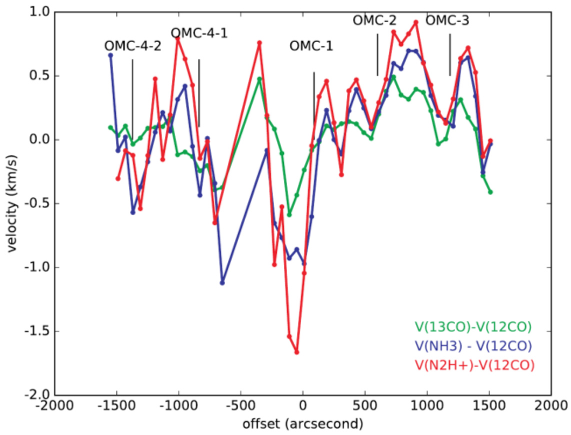
1 – сурет. Интенсивтіліктің интегралданған картасы (нолдік момент) NH_3 (1,1).

Негізге NH_3(1,1) жолағындағы бүкіл енді жабу үшін жылдамдық бойынша интегралдау аралығы 6,5-тен 12,5 км/с құрайды. Сұлбалар 0,18°К*км/с мәнінен басталады(4σ,жуан сұр жолақ) және 0,18°К*км/с қадаммен (жіңішке сұр жолақтар) көтеріледі. σ тең rms*ΔV*√N, осында «rms» - негізгі арнаның орташа квадратталған ауытқу мәндері, ал ол барлық спектрлерге арналған GILDAS дестесінен алынған CLASS бағдарламасының көмегімен негізгі жолақтан экспортталады, ΔV-арна аралығы (жылдамдық бойынша ажырату қасиеті), сонымен қатар N – интегралданған жылдамдық ауқымындағы арналар саны (6,5-ден бастап 12,5 км/с дейін). Зерттелетін аумақ шекарасы жасыл түсті пунктирлі сызықпен белгіленген. Сол жақ панельдің жоғарғы оң жағындағы қызыл жолақтар 383 пк арақашықтағы 1пк масштабты бейнелейді [4]. Бүкіл карта шамамен 0,6 градусқа тігінен өрлеу кезінде және шамамен 1.2 градусқа төмен түсірілген кездегі аумақты қамтитын 45240 шикі спектрлерден құралған. Трапеция кластері көгілдір жұлдыз ретінде белгіленген, ал астындағы оң жақта сәуле қуаттың жартысында қара толтырылған дөңгелек түрінде белгіленген. Белгілі 1 ден 5-ке дейін OMC жіктеуі [6] сәйкесінше белгіленген. NH_3 (1,1) нольдік момент картасында (f) интегралдық морфология көрсетілген, ол өз кезегінде ^{13}CO [7] бақылауларында белгіленіп қойылған.

NH_3, ^{12}CO, ^{13}CO және N_2H+ спектрлік сызықтардағы мәліметтер бойынша ИФЖ орталық қырында толқындық қасиет бар. Сонымен қатар әртүрлі элементтермен бақылау жүргізген кезде немесе басқаша айтқанда ағылшын әдебиеттерінде аталып кеткендей трассерлармен бақылау кезінде қырларда бір-біріне қатысты үлкен жылжу орын алады.

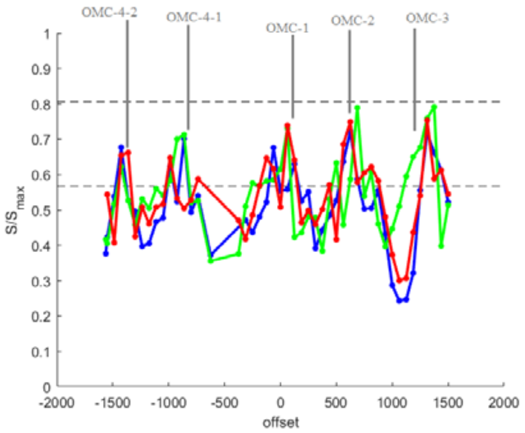
Алайда, әрбір трассердің бір трассерге қатысты жылдамдық ауытқуын салыстыра отырып, OMC-дағы с 1-5 тығыз түйірлердің жыдамдық флуктуациясының локальді экстримумдары маңында орналасқандығы шығады.

Берілген жұмыста әртүрлі оптикалық тереңдігі бар молекулалық трассерлердің арасындағы жылдамдықтар айырмашы-лықтарын пайдалана отырып, түйіндердің орналасуына қатысты ИФЖ бойында аккрециалық ағындарды анықтаудың жаңа тәсілі ұсынылған. Осы мақсатта. Осы мақсатта NH_3 қыр шынынан 1' аралықта жіп спектрлерінің реті қарастырылған, сонымен қатар S/N қатынасы нашар болатын кез келген спектрлер алынып тасталынды. ISF жота бойындағы әр жердің ^{13}CO мен ^{12}CO спектрлер арасындағы және де NH_3 пен ^{12}CO, N_2H+ бен ^{12}CO мәндері арасындағы жылдамдықтар айырмашылықтары 2 суретте жасыл,көк,қызыл сызықтар түрінде ұсынылған. Әлбетте, барлық жиынтықтар жылдамдықтар айырмашылықтары флуктуациясының локальді экстримумдарының жанында орналасқан. Барлық жиынтықтар локальді экстримумдар маңында анықталынғандығын әр протокластерге қатысты аккрециалық ағын арқылы түсіндіруге болады, сәйкесінше осының бәрі жұмыстарда түсіндіріліп кеткен[9].



2 – сурет. ^{13}CO пен ^{12}CO (жасыл), NH_3 пен ^{12}CO (көк) және N_2H + пен ^{12}CO (қызыл) аралығындағы центройда жылдамдығының ауытқуы.

Жылдамдықты градиентке түзетуді ескере отырып, әртүрлі трассерлер бойынша салыстырмалы жылдамдықтарды теңестіру жолымен алынған нәтижелер ИФЖ негізгі жотасы бойымен жүргізілген ақпараттық-энтропиялық талдау нәтижелерімен сәйкестіндіріледі. Хаостың дәрежесін анықтау шарты ретінде нормаланған ақпараттық энертропияны қолдана отырып,реттелген қозғалыс тән болатын молекулалық тұмандықтардағы аумақты анықтауға болады. Басқаша айтқанда протожұлдыздар кластерлері мен олардың қалыптасуына алып келетін протожұлдыздар ядросының тығыз түйін заттары (кесектер) жіпшелер арқылы заттың турбуленттік ағын аумағын құрайды. Бұл құбылысты ақпараттық энтропияны басқа аумақтарға қатысты ұлғайту арқылы қадағалауға болады. Зерттелетін аймақ үшін нормаланған энтропия мәні өзқауымдық аумағында жататындығын Жанабаев З.Ж. ұсынған (3 сурет).



3 – сурет. Орион А NH_3 (қызыл), ^{12}CO (жасыл), ^{13}CO (көгілдір) және N_2H+ (сары) жиынтығындағы интегралдық формалы жіпшенің негізгі жотасының бойындағы нормаланған ақпараттық энтропия.

Суреттен көрініп тұрғандай, тандалынған трассерлерден тәуелсіз протокластерлер аумақтары үшін энтропия өзқауымдастырылған. Ол бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардың бүкіл газына таралатын турбуленттік ағындардың әмбебап қозғалысына байланысты болады. Сонымен қатар осы әдіс протожұлдыздар мен кластерлердегі аккрециалық қозғалыстарға жататын әртүрлі объектілердің және құбылыстардың ортақ, масштабты-инвариантты сипаттамаларын анықтауда жоғары эффективті болып келеді.

Ақпаратты-энтропиялық әдістің ерекшелігі мультиспектралдық зерттеу-лердің қажет болмауында. Осыдан жұлдыздардың белсенді қалыптасу аумақтарын анықтау үшін бірлі-жарым трассерлер бойынша ғана мәліметтерді шолу жеткілікті. Әрі қарай берілген әдіспен анықталынған аумақтарда қосымша бақылау жүргізілетін мәліметтерді қосу арқылы келесі зерттеулерді жүргізуге болады. Әдетте бұл әртүрлі каталогтарды өзара салыстыруға қолданылатын және жұлдыз қалыптасу аумағын анықтау мен табу мақсатында кросскореляциялық анықтауды жүргізуге пайдаланылатын уақытты үнемдеуге мүмкіндік береді. Осы сұрақ аса жоғары дәлдік пен осындай карталарды шолу бұрышының аз болуымен байланысты радиобақылауларды шолу сияқты көлемді болмайтын инфрақызыл карталар үшін ерекше өзекті болып келеді. Басқаша сөзбен айтқанда радиобақылаулар каталогіна қолданылатын ақпаратты-энтропиялы әдісі жұлдыздар қалыптасуының тығыз ядролары бар потенциалды маңызды аумақтарды көрсете алады.

Қорытынды

Ақпараттық энтропия молекулалық тұмандықтарда құрылымның турбулент-тілігі мен өзқауымдығын бақылау критерийлері ретінде қарастырылады, ол өз кезегінде тығыз ядролардың қалыптасуына, болашақта жас жұлдыздың бесігінің қалыптасуына алып келеді.

Қандай трассер түрі таңдалғанына тәуелсіз протокластерлердің аумақтары үшін энтропия өзқауымдастырылған. Бұл бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардағы бүкіл газға таралатын турбуленттік ағынның әмбебап қозғалысымен байланысты.

ЖИФ бойындағы түйіндерге қатысты аккрециялық ағынның бар-жоғын анықтау үшін біз ақпараттық-энтропия әдісін қолдандық. Жиынның нормаланған энтропиясы өзқауымдық аумағында жатқандығы анықталынды. Осыны әрпротокластерге бағытталған аккрециялық ағын түрінде түсіндіруге болады.

Ақпараттық энтропияның нормаланған мәндері үшін ұсынылған классификация әдістері өзқауымды, турбулентті қозғалыс тән аумақтарға белсенді түрде қолданыла алады. Потенциалды түрде бұл аумақтар жұлдыздар қалыптасуы орындалатын аймақтар қатарына үміткер болып шектелініп қалады.

Әдебиеттер тізімі

1 Wilson B. A. et al. A uniform CO survey of the molecular clouds in Orion and Monoceros //Astronomy & Astrophysics. – 2005. – Т. 430. – №. 2. – С. 523-539.

2 Stutz A. M., Kainulainen J. Evolution of column density distributions within Orion A //Astronomy & Astrophysics. – 2015. – Т. 577. – С. L6.

3 Stutz A. M., Gould A. Slingshot mechanism in Orion: Kinematic evidence for ejection of protostars by filaments //Astronomy & Astrophysics. – 2016. – Т. 590. – С. A2.
4 Kounkel M. et al. The gould's belt distances survey (gobelins). Distances and structure toward the orion molecular clouds //The Astrophysical Journal. – 2017. – Т. 834. – №. 2. – С. 142.
5 Berne O., Marcelino N., Cernicharo J. IRAM 30 m Large Scale Survey of ^{12}CO (2-1) and ^{13}CO (2-1) Emission in the Orion Molecular Cloud //The Astrophysical Journal. – 2014. – Т. 795. – №. 1. – С. 13.
6 Johnstone D., Bally J. Large-area mapping at 850 μm. V. Analysis of the clump distribution in the Orion A South molecular cloud //The Astrophysical Journal. – 2006. – Т. 653. – №. 1. – С. 383.
7 Bally J. et al. Filamentary structure in the Orion molecular cloud //The Astrophysical Journal. – 1987. – Т. 312. – С. L45-L49.
8 Wu G. et al. A kinematic study of the integral shaped filament: what roles do filaments play in forming young stellar clusters? //Research in Astronomy and Astrophysics. – 2018. – Т. 18. – №. 7. – С. 077.
Hacar A., Tafalla M. Dense core formation by fragmentation of velocity-coherent filaments in L1517 //Astronomy & Astrophysics. – 2011. – Т. 533. – С. A34.) и Zhang et al. (2015)

04.04.2019 басылымға қабылданды

Д.А. Алимбетова, А.Т. Агишев*, С.А. Хохлов
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,
Алматы, 050040, Қазақстан
**E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com*

ОРИОН ТҰМАНДЫҒЫНДАҒЫ ИНТЕГРАЛ ФОРМАЛЫ ЖІПШЕСІНІҢ НЕГІЗГІ ЖОТАСЫ БОЙЫНДАҒЫ ТУРБУЛЕНТТІЛІК ПЕН ӨЗҚАУЫМДЫЛЫҚ

Аннотация. Ұсынылған жұмыста Орион бұлтында орналасқан интегралды формадағы жіптің негізгі жотасының радио бақылауларының информациялық энтропиялық талдауы жүргізілді. Осыған дейін зерттелген аймақтың кинематикасы ИФЖ жотасының бойындағы жылдамдықтардың жергілікті минимумының жанында тығыз жұлдызды ядролардың орналасқанын көрсетті. Осы жұмыста мұндай бағалау NH_3, ^{12}CO, ^{13}CO, N_2H+ элементтері үшін нормаланған информациялық-энтропия арқылы жасалды және жұлдызды ядролардың энтропия мәндері $I_1 < S/S_{max} < I_2$ аралығына тиіс екенін анықталып, олардың өзқаумды құрылымдар екені табылды.

Ақпараттық энтропия молекулалық тұмандықтарда құрылымның турбуленттілігі мен өзқауымдығын бағалау критерийлері ретінде қарастырылады, бұл өз кезегінде болашақта жас жұлдыздардың бесігі бола алатын, тығыз ядролардың қалыптасуына алып келетін процесстерді бағалауға мүмкіндік береді. Қандай да трассер түрі таңдалғанына тәуелсіз протокластерлердің аумақтары үшін есептелген энтропия өзқауымды мәндеріне ие. Бұл бірінші кезекте молекулалық тұмандықтардағы бүкіл газға таралатын турбуленттік ағынның әмбебап қозғалысымен байланысты. Ақпараттық энтропияның нормаланған мәндері үшін ұсынылған классификация әдістері өзқауымды, турбулентті қозғалыс тән аумақтарға белсенді түрде қолданыла алады. Болашақта бұл әдіс арқылы жұлдыздар қалыптасуы орын алатын аймақтарды іздеп, анықтауға қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Информация, энтропия, турбуленттілік, өзқауымдылық, молекулалық тұмандықтар.

Д.А. Алимбетова, А.Т. Агишев*, С.А. Хохлов

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, 050040, Казахстан
**E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com*

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И САМООРГАНИЗАЦИЯ ВДОЛЬ ОСНОВНОГО ХРЕБТА НИТИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ФОРМЫ В ОБЛАКЕ ОРИОНА

Аннотация. В работе проведен информационно-энтропийный анализ данных радионаблюдений основного хребта нити интегральной формы в облаке Ориона. Ранние исследование кинематики данной области показали, что плотные предзвездные ядра расположены в близи локальных минимумов скоростей, вдоль хребта НИФ. В настоящей работе такая оценка была произведена через нормированную информационную энтропию для элементов NH_3, ^{12}CO, ^{13}CO, N_2H+, и определено, что предзвездные ядра имеют значения нормированной энтропии лежащих в области $I_1<S/S_{max}<I_2$, и являются самоорганизованными структурами.

Информационная энтропия рассмотрена как критерий оценки турбулентности и самоорганизации структур в молекулярных облаках, приводящий к формированию плотных ядер, в последующем, колыбели молодых звездных ассоциаций. Энтропия для областей протокластеров самоорганизовано, не зависимо от того, какой трассер был выбран. Это в первую очередь связано с универсальным поведением турбулентных течений распространяющийся на весь газ молекулярного облака. Выдвигаемый метод классификации по нормированным значениям информационной энтропии может быть эффективно применен для определения областей, для которых характерно самоорганизованное, турбулентное движение. Потенциально эти области могут быть локализованы как кандидаты в участки где может происходить формирования звезд.

Ключевые слова: Информация, энтропия, турбулентность, самоорганизация, молекулярная туманность.

D.A. Alimbetova, A.T. Agishev*, S.A. Khokhlov
al-Farabi Kazakh National university,
Almaty, 050040, Kazakhstan
**E-mail: aldiyar.agishev@gmail.com*

TURBULENCE AND SELF-ORGANIZATION ALONG THE MAIN RIDGE OF AN INTEGRAL SHAPED FILAMENT IN THE ORION MOLECULAR CLOUD

Abstract: In this paper, an information-entropy analysis of the radio observations of the main ridge of an integral-shaped filament in the Orion cloud has been carried out. Early studies of the kinematics of this area showed that dense pre-stellar cores are located near the local minimum of velocities along the main ridge of the ISF. In the present work, such an estimate was made through the normalized informational entropy for the NH_3, ^{12}CO, ^{13}CO, N_2H+ elements and it was determined that the pre-stellar cores have the normalized entropy values lying in the $I_1<S/S_{max}<I_2$, and are self-organized structures.

Information entropy is considered as a criterion for the evaluation of turbulence and self-organization of structures in molecular clouds, leading to the formation of dense cores, subsequently, the cradle of young stellar associations. The entropy for the regions of the protoclusters is self-organized, regardless of which tracer was selected. This is primarily due to the universal behavior of turbulent flows spreading over the entire gas of a molecular cloud. The proposed classification method for the normalized values of the information entropy can be effectively applied to determine areas that are characterized by self-organized, turbulent motion. Potentially, these areas may be localized as candidates in areas where star formation may occur.

Keywords: Information, entropy, turbulence, self-organization, molecular cloud.

МРНТИ 41.23.17

Сарманбетов С.А., Хохлов А.А., Кожагулов Е.Т., Ибраимов М.К.
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, 050040, Казахстан
**E-mail: sarmanbetov.sanzhar@mail.ru*

КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕКТРОВ НОРМАЛЬНЫХ ЗВЕЗД ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрена задача классификации спектральных классов F и A нормальных звезд главной последовательности и дано краткое описание о методе исследования. Convolutional Neural Network (CNN) были протестированы в классификации на двух общеизвестных наборах данных и достигнуты положительные результаты даже при очень небольшом количестве обучающих образцов в классе. На основе полученных результатов можно утверждать, что CNN модель глубокого обучения является эффективным инструментом в задачах классификации спектров звезд главной последовательности. Использования большого количества обучающих выборок повышают вычислительную точность вне зависимости от сложности формы сигнала. Использование искусственных нейронных сетей показывает преимущества в задачах обработки, классификаций, идентификаций большого массива данных сложных сигналов, таких как спектров звезд главной последовательности и других типов, радиоизлучения Солнца, а также сигналов различных астрофизических объектов. Эффективная обработка большого массива данных, использования меньшей ресурсной базы за короткое время обработки – это все является актуальной задачей современных исследований обработки сложных сигналов астрофизических объектов.

Ключевые слова: Сверточные нейронные сети, глубокое обучение, спектр, звезды главной последовательности.

Введение

С момента разработки прибора астрономического наблюдения, можем получить огромное количество спектров. Это явно требует извлечения астрофизической информации из спектров автоматически и точно. Различные методы были введены в спектральной обработке данных [1-4], которая включает в себя извлечение физических параметров и спектральную классификацию.

Нейронные сети (НС) [5] как инструмент классификации данных возникли как альтернатива известным условным методам классификации. Преимущества НС определяются тем, что они могут адаптироваться к данным без какой-либо их спецификации, а также они могут аппроксимировать любую функцию с любой точностью. НС преобразуют данные нелинейно, что делает их гибким инструментом моделирования сложных реальных данных и их преобразований. Кроме того, НС могут оценивать апостериорные вероятности и могут использоваться для создания правил статистической классификации медицинских данных для медицинской диагностики. Нейронные сети могут состоять из произвольного количества нейронов, сгруппированных в один или несколько слоев. Выбор количества нейронов и конфигурации сети зависит от конкретной задачи и может варьироваться от десятков до десятков тысяч в задачах классификации спектров. Изначально, наиболее популярными были нейронные сети на основе самообучающихся карт Кохонена и НС обученные по правилу обратного распространения ошибки. В настоящее время, огромный интерес вызывают сверточные нейронные сети, но их применение ограничивается областью распознавания образов [6]. Основным недостатком нейронных сетей является отсутствие гарантированного положительного результата при обучении, то есть, нет явного указания, как нужно выбирать конфигурационные параметры нейронной сети, чтобы получить хороший классификатор. Однако сложности при обучении компенсируются эффективностью классификации.

Эта работа подходит к проблеме автоматической звездной классификации, сочетающая в себе традиционные и нечеткие методы рассуждения.

Цель данной работы — построить модель (классификатор) с помощью сверточных нейронных сетей [7] для классификации спектров нормальных звезд главной последовательности.

Экспериментальные результаты исследования

Для исследования были выбраны два спектральных класса F и A нормальных звезд главной последовательности. При этом в качестве данных были выбраны спектры выбранных объектов, которые были получены на телескопе диаметром 1.93 м обсерватории Observatoire de Haute Provence со спектрографом (R ~ 42,000). Проекционная скорость выбранных звезд не превышала 100 *км/с*. Отношение сигнала/шум спектров составлял ~ 100. Спектральный диапазон проводимого исследования составляет 4000-7000 Å.

На рисунке 1, 2 представлен пример одного из спектров нормальной звезды с ELODIE. Данные спектры приводились к континууму, т.е. были нормализованы, чтобы в первую очередь избавиться от влияния межзвездного поглощения. Наряду с этим из спектров звезд были убраны особенности, не принадлежащие самому объекту (теллурические линии, космики, межзвездные особенности). Данные процедуры были проделаны с использованием стандартных функций программы IRAF.

В качестве алгоритма классификации был использован CNN (Convolutional neural network). Основной идеей метода является распознавание и классификации изображений [8-15]. Перед реализацией классификации проводился этап обучения CNN. Для этого каждая группа спектров случайным образом была поделена на две равные выборки, 18 из которых использовалась для обучения метода (обучающая выборка), а вторая (тестовая выборка) – для классификации. После этого проводилась классификация тестовой выборки [16-21]. Классификация проведена попарно, и в каждом случае найден класс звезд. Полученные результаты представлены в Таблице 1.

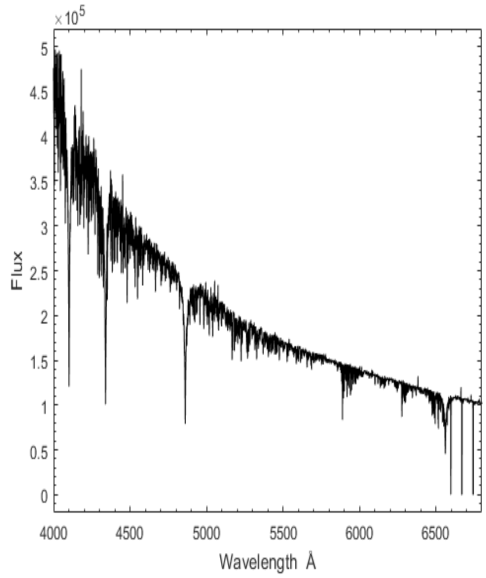


Рисунок 1 – Спектр звезды HD 210210 со спектрографа ELODIE. Ось Y – интенсивность, Ось X – длина волны в Ангстремах.

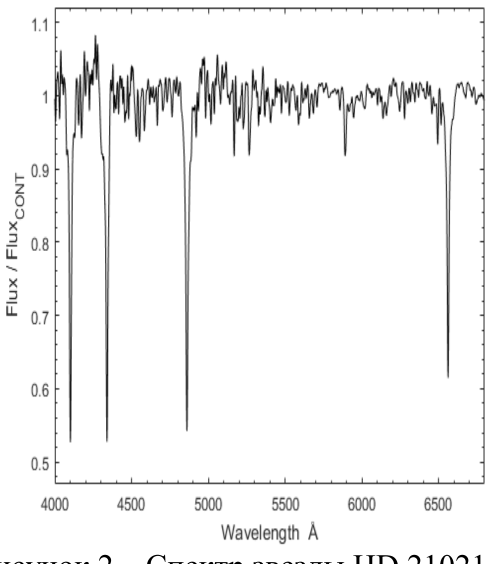


Рисунок 2 – Спектр звезды HD 210210 со спектрографа ELODIE приведенный к континууму.

В данной работе, аналогично исследовались 2 (Рис.1, Рис.2) группы спектров звезд общим количеством 20, количество спектров в каждой группе одинаково. В первую группу (группа 1) вошли спектры класса O. Во вторую группу (группа 2) вошли спектры класса B.

Таблица 1. Полученные результаты классификации исследуемых групп

True test1: 10 False test1: 10 True test2: 10 False test2: 10 4.675081253051758	True test1: 10 False test1: 0 True test2: 10 False test2: 10 4.6085426807403564	True test1: 10 False test1: 10 True test2: 0 False test2: 10 4.563679218292236
Пример 1	Пример 2	Пример3
True test1: 10 False test1: 0 True test2: 0 False test2: 10 4.47825813293457	True test1: 0 False test1: 10 True test2: 10 False test2: 0 4.497290849685669	True test1: 10 False test1: 0 True test2: 0 False test2: 0 4.425152063369751
Пример 4	Пример 5	Пример 6

Основным показателем качества обучения служит первичное тестирование. Именно, первоначальное тестирования отражает то, насколько хорошо обученная нейронная сеть обобщает входные данные и не совершает ошибочных классификаций.

Для реализации данной задачи было выбрано следующее программное обеспечение:

1. язык программирования Python, на котором создано множество библиотек для работы с данными и нейронными сетями;

2. библиотека «Keras» [22], которая позволяет имплементировать CNN с помощью «TensorFlow» [23] на более высоком программном уровне.

Для обучения модели были выбраны следующие параметры:

1. Метрика для ошибки: «categorical crossentropy». Используется, когда желательна вероятностная интерпретация оценок. Данная метрика измеряет сходство между истинным классом и прогнозируемым.

2. Оптимизатор: «adam». Алгоритм сочетает в себе идею накопления движения градиента и идею более слабого обновления весов для типичных признаков.

3. Метрика для оценки точности классификатора: «F-мера». Для многоклассовой классификации выделяют два подхода расчета F-меры: micro-усреднение и macro-усреднение. При micro-усреднении значения матрицы несоответствий усредняются по всем классам, а затем вычисляется F-мера. При macro-усреднении сначала вычисляется F-мера для каждого класса, а затем результаты усредняются по всем классам. Все исходные данные были разделены на обучающую (80 %) и тестовую выборку (100 %). Обучение прекращалось, когда ошибка на тестовой выборке начинала расти, а на обучающей продолжала падать (метод ранней остановки). Обучение модели проходило на процессоре core i7 с видеокартой NVIDIA 1080. Графический процессор этой видеокарты поддерживает параллельные вычисления (CUDA) [24], что сокращает время обучения в несколько раз по сравнению с вычислениями на CPU. 10 эпох длилась 4,6 секунды (рисунок 3).

Рисунок 3 – Обучение сети

Модель CNN была проверена на контрольных примерах, неиспользованных при обучении.

В Таблице 1 приведены 6 примеров, в примере 1 были выбраны в обеих папках спектры двух типов, сеть разделила на четыре: True test1, False test1, True test2, False test2. True уточняет что спектр принадлежит классу, а False отрицает. В остальных примерах сделаны эксперименты как видно в Таблице 1. Поскольку вход - это не один объект, показатель успеха для одного класса приблизительно 99% и 0% для оставшегося класса.

Заключение

В большинстве приложений глубокого обучения CNN [25] используются для огромного количества обучающих примеров для изучения мощных классификаторов. В этой статье обрабатывались ограниченные обучающие образцы. CNN были протестированы в классификации на двух популярных наборах данных и достигнуты положительные результаты даже при очень небольшом количестве обучающих образцов в классе. Наша работа показывает, что CNN модели глубокого обучения могут применены к проблемам классификации с помощью нескольких обучающих выборок, не теряя своего обобщения, если сеть хорошо спроектирована.

Литература

1. S. Kumar, J. Ghosh, M.M. Crawford, Best-bases feature extraction algorithms for classification of hyperspectral data, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 39 (7) (2001) 1368–1379.
2. D. Manolakis, D. Mardon, G.A. Shaw, Hyperspectral image processing for automatic target detection applications, Lincoln Lab. J. 14 (1) (2003) 79–115.
3. J.M. Bioucas-Dias, A. Plaza, G. Camps-Valls, P. Scheunders, N.M. Nasrabadi, J. Chanussot, Hyperspectral remote sensing data analysis and future challenges, IEEE Geosci. Remote Sens. Mag. 1 (2) (2013) 6–36.
4. Q. Du, L. Zhang, B. Zhang, X. Tong, P. Du, J. Chanussot, Foreword to the special issue on hyperspectral remote sensing: theory, methods, and applications, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sens. 6 (2) (2013) 459–465.
5. X. Li, R. Rakkiyappan, G. Velmurugan, Dissipativity analysis of memristor-based complex-valued neural networks with time-varying delays, Inform. Sci. 294 (2015) 645–665.
6. N. Younan, S. Aksoy, R. King, Foreword to the special issue on pattern recognition in remote sensing, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sens. 5 (5) (2012) 1331–1334.
7. ABritz D. Implementing a CNN for Text Classification in TensorFlow, 2015
8. G.F. Hughes, On the mean accuracy of statistical pattern recognizers, IEEE Trans. Inf. Theory 14 (1) (1968) 55–63.
9. S. Kumar, J. Ghosh, M.M. Crawford, Best-bases feature extraction algorithms for classification of hyperspectral data, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 39 (7) (2001) 1368–1379.
10. L.O. Jimenez-Rodrguez, E. Arzuaga-Cruz, M. Velez-Reyes, Unsupervised linear feature-extraction methods and their effects in the classification of high-dimensional data, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 45 (2) (2007) 469–483.
11. A. Agarwal, T. El-Ghazawi, H. El-Askary, J. Le-Moigne, Efficient hierarchicalPCA dimension reduction for hyperspectral imagery, in: IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, 2007, pp. 353– 356.
12. M. Fauvel, J. Chanussot, J.A. Benediktsson, Kernel principal component analysis for the classification of hyperspectral remote sensing data over urban areas, EURASIP J. Adv. Signal Process. 2009 (2009) 1–14.
13. J. Wang, C.-I. Chang, Independent component analysis-based dimensionality reduction with applications in hyperspectral image analysis, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 44 (6) (2006) 1586–1600, http://dx.doi.org/10.1109/ TGRS.2005.863297.
14. C. Xu, C. Lu, J. Gao, W. Zheng, T. Wang, S. Yan, Discriminative analysis for symmetric positive definite matrices on lie groups, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 25 (10) (2015) 1576–1585.
15. B.S. Serpico, L. Bruzzone, A new search algorithm for feature selection in hyperspectral remote sensing images, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 39 (7) (2001) 1360–1367.
16. I. Guyon, A. Elisseeff, An introduction to variable and feature selection, J. Mach. Learn. Res. 3 (2003) 1157–1182.
17. C.-I. Chang, S. Wang, Constrained band selection for hyperspectral imagery, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 44 (6) (2006) 1575–1585.
18.]S. Jia, G. Tang, J. Zhu, Q. Li, A novel ranking-based clustering approach for hyperspectral band selection, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 54(1) (Jan. 2016), http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2015.2450759.

19. Y. Qian, F. Yao, S. Jia, Band selection for hyperspectral imagery using affinity propagation, IET Comput. Vis. 3 (4) (2009) 213–222, http://dx.doi.org/10.1049/ iet-cvi.2009.0034.
20. S. Jia, Z. Ji, Y. Qian, L. Shen, Unsupervised band selection for hyperspectral imagery classification without manual band removal, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sens. 5 (2) (2012) 531–543.
21. M. Fauvel, Y. Tarabalka, J.A. Benediktsson, J. Chanussot, J.C. Tilton, Advances in spectral-spatial classification of hyperspectral images, Proc. IEEE 101 (3) (2013) 652–675
22. Keras: The Python Deep Learning library [Электронный ресурс] / Официальный сайт библиотеки «Keras». — Режим доступа : https://www.keras.io/ (дата обращения : 23.04.17).
23. About TensorFlow [Электронный ресурс] / Официальный сайт фреймворка «Tensorflow». — Режим доступа : https://www.tensorflow.org/ (дата обращения : 23.04.17).
24. Параллельные вычисления от NVIDIA [Электронный ресурс] / NVIDIA. — Режим доступа : https://www.nvidia.ru/object/cuda-parallel-computing-ru.html (дата обращения : 23.04.17).
25. Corinna Cortes and Vladimir N. Vapnik. Support vector networks. Machine Learning, 20, 1995, pp. 1

Принято в печать 04.04.2019

Сарманбетов С.А., Хохлов А.А., Кожагулов Е.Т., Ибраимов М.К.
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, 050040, Казахстан
**E-mail: sarmanbetov.sanzhar@mail.ru*

КЛАССИФИКАЦИЯ СПЕКТРОВ НОРМАЛЬНЫХ ЗВЕЗД ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрена задача классификации спектральных классов F и A нормальных звезд главной последовательности и дано краткое описание о методе исследования. Convolutional Neural Network (CNN) были протестированы в классификации на двух общеизвестных наборах данных и достигнуты положительные результаты даже при очень небольшом количестве обучающих образцов в классе. На основе полученных результатов можно утверждать, что CNN модель глубокого обучения является эффективным инструментом в задачах классификации спектров звезд главной последовательности. Использования большого количества обучающих выборок повышают вычислительную точность вне зависимости от сложности формы сигнала. Использование искусственных нейронных сетей показывает преимущества в задачах обработки, классификаций, идентификаций большого массива данных сложных сигналов, таких как спектров звезд главной последовательности и других типов, радиоизлучения Солнца, а также сигналов различных астрофизических объектов. Эффективная обработка большого массива данных, использования меньшей ресурсной базы за короткое время обработки – это все является актуальной задачей современных исследований обработки сложных сигналов астрофизических объектов.

Ключевые слова: Сверточные нейронные сети, глубокое обучение, спектр, звезды главной последовательности.

Сарманбетов С.А., Хохлов А.А., Кожагулов Е.Т., Ибраимов М.К.
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,
Алматы, 050040, Қазақстан
**E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com*

БАС ТІЗБЕКТЕГІ ҚАЛЫПТЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ СПЕКТРЛЕРІНІҢ КЛАССИФИКАЦИЯСЫН НЕЙРОНДЫ ЖҮЙЕЛЕР АРҚЫЛЫ ТЕРЕҢ ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Бұл мақалада қалыпты негізгі жүйелі жұлдыздардың спектрлік класстарын F, A классификациялау мәселесі қарастырылады және зерттеу әдісінің қысқаша сипаттамасы келтірілген. Оралған нейрондық желі (CNN) екі танымал деректер жиынтығымен сынақтан өткізілді және класстағы оқу үлгілерінің өте аз санымен оң нәтижелерге қол жеткізді. Алынған нәтижелер негізінде CNN терең оқу үлгісі негізгі жүйеленген жұлдыздардың классификациялық мәселелеріндегі тиімді құрал болып табылады деп айтуға болады. Оқу үлгілерінің көп мөлшерін пайдалану толқындардың күрделілігіне қарамастан есептік дәлдігін арттырады. Жасанды нейрондық желілерді пайдалану, негізгі тапсырмаларды өңдеуде, классификациялауда, негізгі жүйелі жұлдыздардың спектрі сияқты күрделі сигналдардың үлкен деректер жиынтығын анықтайтын артықшылықтарын көрсетеді. Шағын дерек қорларын тиімді өңдеу, қысқа өңдеу уақытында ресурстық базаны қолдану, заманауи зерттеулердің, оның ішінде астрофизикалық сигналдарды өңдеудің өзекті міндеті болып табылады.

Түйін сөздер: Оралған нейрондық желілер, терең оқыту, спектр, бас тізбек жұлдыздары.

S.A. Sarmanbetov, A.A. Khokhlov, E.T. Kozhagulov, M.K. Ibraimov
al-Farabi Kazakh National university,
Almaty, 050040, Kazakhstan
**E-mail: sarmanbetov.sanzhar@gmail.com*

CLASSIFICATION OF SPECTRA OF NORMAL STARS OF THE MAIN SEQUENCE OF THE NEURAL NETWORK, DEEP LEARNING

Abstract. This article discusses the problem of classifying spectral classes F and A of normal main sequence stars and gives a brief description of the research method. The convolutional Neural Network (CNN) was tested in a classification on two well-known data sets and achieved positive results even with a very small number of teaching samples in the classroom. On the basis of the obtained results, it can be argued that the CNN deep learning model is an effective tool in the classification problems of the main sequence stars. The use of a large number of training samples increases computational accuracy regardless of the complexity of the waveform. The use of artificial neural networks shows its advantages precisely in processing tasks, classifications, identifying large data sets of complex signals, such as spectra of main sequence stars, etc.. Effective processing of large data sets, using a smaller resource base in a short processing time, is an urgent task of modern research, including the processing of astrophysical signals.

Key words: Convolutional neural networks, deep learning, spectrum, main sequence stars.

МРНТИ 29.27.43

А.А. Акильдинова[1,2], Е.А. Үсенов[1,2], А.К. Бисенбаев[3], М.Т. Габдуллин[1], М.Қ. Досболаев[1], Т.Т. Данияров[2], Т.С. Рамазанов[1]

[1]*ННЛОТ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, Алматы, Казахстан*

[2]*Институт прикладных наук и информационных технологий, 050040, Алматы, Казахстан*

[3]*НИИ Проблем биологии и биотехнологии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,050040, Алматы, Казахстан*

e-mail: akildinova@physics.kz

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПЛАЗМОЙ ДКПБР НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТА α-АМИЛАЗЫ

Аннотация. В этой статье было изучены влияние плазменной обработки семян пшеницы на всхожесть семян и активность фермента α-амилазы. Исследованы оптические свойства диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда (ДКПБР). Результаты оптической эмиссионной спектроскопии показали наличие полос молекулярного азота в спектре излучения ДКПБР, а именно, второй положительной (N_2 (CB)) и первой отрицательной (N_2^+ (BX)) систем, а также низкоинтенсивного OH и линий NO. Также с целью определения температуры при разных подаваемых мощностях, а также для исключения тепловых эффектов диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда при дальнейших исследованиях по обработке агрокультур и полимерных материалов был проведен ряд экспериментов для измерения температуры поверхности экспериментальной установки. Данные измерения показали, что при дальнейших исследованиях по обработке полимеров и сельскохозяйственных культур влияние тепловых эффектов можно исключить. Результаты по обработке семян пшеницы плазмой диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда показали, что плазма ДКПБР оказывает положительное влияние на рост семян пшеницы и на активность фермента α-амилазы. Также показано, что биометрические показатели проросших семян оказались значительно выше после плазменной обработки.

Ключевые слова: диэлектрический барьерный разряд, диэлектрический копланарный поверхностный барьерный разряд, обработка семян пшеницы, α-амилаза.

Введение

Развитие агропромышленности в мире связано с новыми технологиями, необходимыми для выращивания и хранения сельскохозяйственных культур. Как известно, защита от болезней и вредителей, стимуляция роста семян - важная часть технологии выращивания агрокультур. Предпосевная обработка семян - один из важнейших элементов технологии выращивания агрокультур, позволяющий повышать их всхожесть и защищать от вредителей. Кроме того, предпосевная обработка семян предупреждает появление и распространение ряда заболеваний в период роста и развития растений. Тут возникает вполне резонный вопрос каким методом обработки предпосевных семян воспользоваться, ведь их очень много: биологический, химический, физический методы. На сегодняшний день зачастую используется химический метод, что связано с малыми затратами сравнительно с остальными методами. Среди мер, направленных на улучшение технологии возделывания пшеницы и способствовавших росту урожайности, было увеличение применения минеральных удобрений и химических средств защиты растений. Однако, применение удобрений и химических средств защиты растений, механизация производства нарушает равновесие агроэкосистем и разрушает природную среду, что не может не оказывать негативного воздействия на плодородие почвы и качество получаемой продукции. Дальнейшая интенсификация возделывания сельскохозяйственных культур становится все более затратной и менее эффективной, обеспечивает все меньшие прибавки урожая и приводит к загрязнению окружающей среды [1]. Проблемы, возникающие при применении удобрений и химических средств защиты растений, вынуждают к поиску других, экологически более чистых методов воздействия на семена для увеличения всхожести семян и урожайности сельскохозяйственных культур. Также в настоящее время возрастает роль физических методов предпосевной обработки семян, что обусловлено острой необходимостью получения экологически безопасной продукции и снижения пестицидной нагрузки.

Существует ряд физических методов предпосевной обработки семян, такие как: «магнитное грунтование» (magneto-priming), облучение микроволнами или ионизирующим излучением [2-4]. Так называемое «магнитное грунтование» основано на использовании магнитных полей [3], ИК, как и γ-излучение и рентгеновские излучение, повышает процент всхожести [4].

Одной из перспективных физических методов предпосевной обработки семян является обработка низкотемпературной плазмой атмосферного давления. Плазменная обработка является альтернативой химической предпосевной обработке семян и обеспечивает экологически чистый метод устранения болезней семян. Для обработки семян используется широкий спектр источников плазмы, таких как радиочастотные разряды [5,6], объемные диэлектрический барьерный разряд (ДБД) [7-9], диффузный копланарный поверхностный барьерный разряд (ДКПБР) [10-12] и тд. На сегодняшний день из многочисленных видов физических методов предпосевной обработки семян ряд ученых выделяет обработку семян агрокультур плазмой диэлектрического барьерного разряда, так как данный тип разряда не требует громоздкого и дорогостоящего вакуумного оборудования, обладает высокой биологической активностью плазмы и имеет газокинетическую температуру около 300 К, что дает возможность исключить термальный эффект при обработке плазмой данного разряда семян агрокультур. В данном случае, неионизирующее излучение низкого уровня и многочисленные реактивные частицы, в том числе активные формы кислорода и азота, генерируемые плазмой, могут быть использованы, чтобы вызвать желательные изменения в широком спектре развития физиологических процессов в растениях, повышение устойчивости семян к стрессу и болезням, изменение структуры семенного слоя [13], повышающее проницаемость семенного слоя и стимулирующее прорастание семян [14,15].

Согласно исследованиям ряда ученых плазма диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда может влиять на всхожесть семян агрокультур следующим образом: обеззараживание семян путем дезактивации вредоносных микроорганизмов и бактерий, что может значительно улучшить качество посева [16,17], внесение изменений в структуру поверхности семян, повышение гидрофильности, тем самым способствование поглощению воды семенем [14], изменение химического состава обработанных образцов путем внедрения радикалов[13,15], стимуляция роста семян за счет выработки ферментативных антиоксидантов, необходимых для устойчивости в различных стрессовых условиях. Растительные организмы вырабатывают особые вещества, называемые ферментами, или энзимами. Эти вещества обладают способностью вызывать и ускорять химические реакции, происходящие в живых организмах. Учеными исследуется один из видов ферментов каталаза, так как он расщепляет перекиси с образованием молекулярного кислорода, то есть, разлагает вредные для организма перекиси, тем самым защищая организм от внешних расстройств [15]. Также существует несколько видов ферментов, катализирующих реакции гидролиза, иначе гидролазы. К ним относится фермент альфа-амилаза, под действием которого происходит гидролиз крахмала с образованием декстринов и мальтозы, что влияет на дальнейший рост растений. Всхожесть и скорость прорастания семян растений зависят от многих факторов, таких как вода, кислород, температура и свет [18]. Кроме этого, показано, что физическиефакторы такие как лазерное облучение [19], магнитное поле [20,21], низкое давление [22], плазменная обработка [21-24], гамма-лучи, и УФ-излучение оказывают значительное действие на эффективность прорастание зерна. Однако полученные данные противоречивые и механизм стимулирующего действия физических факторов на эффективность прорастания семян пшеницыисследован недостаточно полно.

В данной работе приведены результаты исследования обработки семян пшеницы плазмой ДКПБР. Актуальностью данной работы является изучение активности альфа-амилазы, так как активность альфа-амилазы является ключевым фактором роста семени и дальнейшей всхожести растения.

Экспериментальная установка

Эксперименты были проведены на установке RoplassRPS400. Система RPS400 использует копланарный поверхностный барьерный разряд для генерации плазмы атмосферного давления. ДКПБР может использоваться для обработки текстильных изделий, полимерных материалов, металлов, дерева, стекла, биоматериалов и др[10]. На рисунке 1 приведен общий вид экспериментальной установки RPS400.

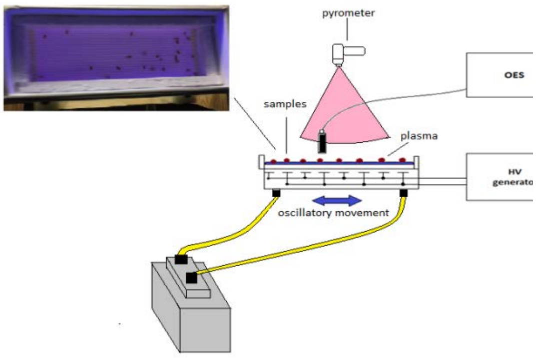


Рисунок 1 - Общий вид экспериментальной установки

Электродная система ДКПБР состоит из двух систем параллельных ленточных электродов шириной 1,8 мм, толщиной 0,1 мм и длиной 230 мм. Электроды покрыты керамическим слоем толщиной 0,4 мм [24]. Разряд включался синусоидальным высоковольтным напряжением (17 кГц, примерно 9 кВ от пика до пика), поставляемым с помощью плазменного источника питания HV. В целях равномерной обработки поверхности семян собран осциллирующий механизм для приведения в движение разрядной ячейки(рис. 1 (в, г)).

С помощью оптико-эмиссионного спектрометра изучены оптические свойства ДКПБР. В спектре излучения ДКПБР наблюдались молекулярные полосы азота, вторая положительная (N_2 (C-B)) и первая отрицательная (N_2^+ (B-X)) системы. На рисунке 2показаны наблюдаемые пиковые значения от 300 нм до 470 нм [10].

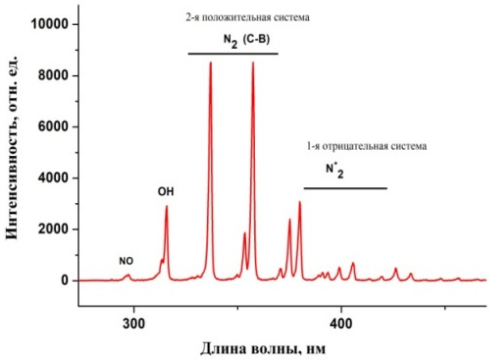


Рисунок 2 – Спектр излучения диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда в диапазоне волн 300-470 нм

С целью определения температуры при разных подаваемых мощностях, а также для исключения тепловых эффектов ДКПБР при дальнейших исследованиях по обработке агрокультур проведены измерения температуры поверхности разрядной ячейки. Эксперименты проводились с помощью оптического пирометрапри различных мощностях от 200 Вт до 260 Вт, с шагом 20 Вт. Результаты измерений показали, что с увеличением мощности температура возрастает(таблица 1). Можно предположить, что при дальнейших исследованиях по обработке сельскохозяйственных культур влияние тепловых эффектов при данном диапазоне мощностей можно исключить.

Таблица 1 Значения температур поверхности установки ДКПБР

P, Вт	200	220	240	260
<T>, ^{0}C	58	60	62	63

Выбор посевного материала и методика измерений

В работе использованы зерна яровой мягкой пшеницы сорта "Саратовская 29".

Зерна пшеницы были получены из Казахского научно-исследовательскогоинститута земледелия и растениеводства МСХ РК, были визуально проверены и зерна без видимых дефектов отобраны для обработки плазмой.

Зерна пшеницы (Triticumaestivum) стерилизовали в растворе 1%-го гипохлорида натрия в течение 10 мин. Затем несколько раз промывались в стерилизованной воде. Было подготовлено несколько партий семян, каждая из которых содержала 25 зерен, затем их помещали в чашки Петри, содержащие 3-4 слоя бумаги (Ватман №1), смоченной дистиллированной водой. Одна партия подвергалась воздействию плазмы в течение 5, 10 и 15 секунд, а семена из другой партии использовались в качестве контроля. Зерна, подлежащие обработке плазмой, равномерно распределялись по чашке Петри, при этом отдельные зерна не касались друг друга. Проращивание семян проводили в течение четырех дней в условиях долгого светового дня при 22°C. Всхожесть семян определяли по следующей формуле: Всхожесть (%) = (Количество проросших семян за 1 день/общее количество семян) х100%. Массу проростков, показатели длины надземной части и корня определяли на 4-е сутки после начала проращивания при температуре +22ºС в сравнении с контрольным вариантом без обработки. Достоверность результатов оценивали с помощью t-критерия Стьюдента.

Морфология поверхности семян пшеницы до и после обработки плазмой ДКПБР изучена с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM). Для этого использован электронный микроскоп, позволяющий получать увеличенное изображение поверхности, благодаря использованию электронных пучков с большой энергией.

Также для изучения морфологических свойств семян пшеницы до/после обработки плазмой ДКПБР использован метод измерения контактного угла, так как контактный угол смачивания является количественной характеристикой процесса смачивания, его величина определяет межмолекулярное взаимодействие частиц поверхности твердых тел с жидкостями.

Активность α-амилазы определяли с использованием растворимого крахмала в качестве субстрата и путем измерения количества редуцирующих сахаров методом ДНС (3,5-динитросалициловая кислота) с использованием D-глюкозы в качестве стандарта. Для анализа 0.5 мл гомогената растений в качестве источника фермента перемешали с равным объемом 0.15% крахмала в 0,1М натрий ацетатном буфере (pH_6) и в течение 30 мин при 60ºС. После инкубации реакцию остановили добавлением 3 мл реагента DNS и кипячением в течение 15 минут. За единицу активности принимали количество фермента, которое образует 1мкМ востанавливающих сахаровза 1 мин в расчете на 1 мг тотального белка, при данных условиях реакции.

Результаты и обсуждения

Влияние плазмы на всхожесть семян пшеницы варьировалась в зависимости от продолжительности обработки (рис. 3). Всхожесть зерна при воздействии на зерна пшеницы в течение 5, 10 и 15 секунд составила 100, 96 и 98% соответственно. Значительное достоверное различие наблюдалось между обработанными и контрольными вариантами (7-12%) ($p<0.05$). При этом, не наблюдались значительные различия между результатами, полученными при обработке плазмой в течение 5, 10 и 15 секунд. Обработка зерна пшеницы в течение 30 и выше секунд приводило к полной остановке роста растений (данные не представлены).

Результаты биометрического анализа структурных элементов растений представлены в таблице 2 (Приложение 1). Как видно из представленных данных, проростки яровой пшеницы, семена которых были обработаны плазмой, имели массу приблизительно на 15–18% выше, чем необработанные растения. При этом увеличение надземной биомассы растений яровой мягкой пшеницы колебалось в пределах от 22% до 44%, тогда как масса корневой системы увеличилась от 60% до 80% в пересчете на 1 растение. Необходимо отметить, что в представленном эксперименте преимущество имели варианты обработки растений в течение 15 секунд. Для определения влияния плазмы на рост проростков в следующих экспериментах определяли длину корневой системы и первого настоящего листа (побега) в возрасте

4 суток. На рисунке 4 показаны биометрические показатели проростков пшеницы после плазменной обработки.

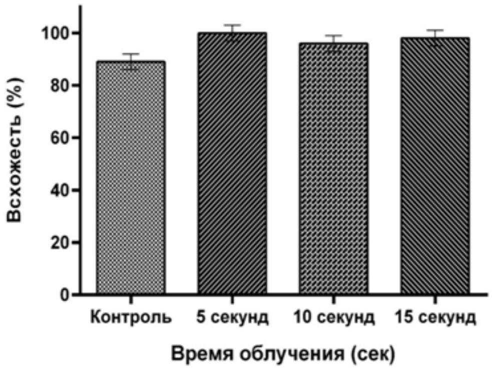


Рисунок 3 – Влияние плазмы на всхожесть зерна пшеницы

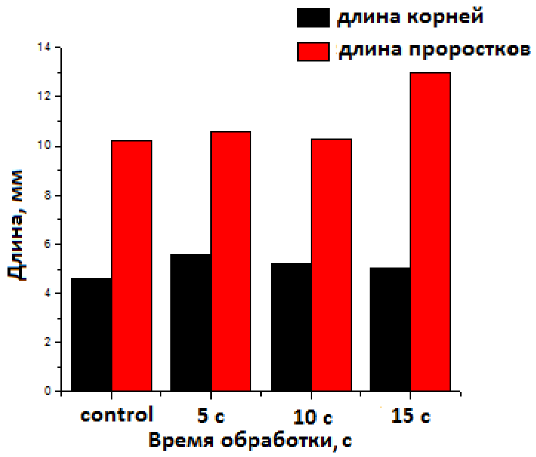


Рисунок 4 – Биометрические показатели проростков пшеницы после плазменной обработки

Наибольшая длина побегов и корней пшеницы при обработке плазмой проявилась при обработке в течение 15 секунд (13 см). При обработке семян в течение 5 и 10 секунд длина побегов и корней составила, 10,6 и 10,29 см соответственно.

Настоящее исследование показало, что плазма оказывает положительное влияние на прорастание зерна пшеницы. Всхожесть зерна и биометрические показатели оказались значительно выше при обработке плазмой. При этом эффективность зависела от продолжительности действия плазмы. Обработка зерна в течение 15 секунд вызвала наибольший стимулирующий эффект на всхожесть и биометрические показатели проростка пшеницы. Процесс обработки плазмой возможно обеспечивает поглощение воды и активирует ферментативные и другие биологические реакции в растительной клетке, что приводит к более быстрому и равномерному прорастанию.

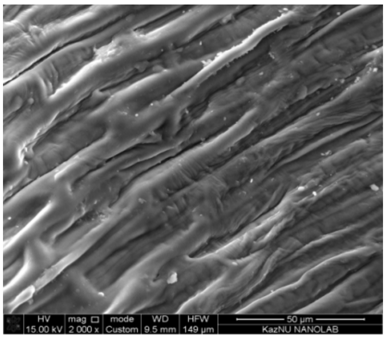
Был проведен ряд экспериментов по изучению морфологических свойств, а именно, смачиваемости семян пшеницы, обработанных плазмой ДКПБР. Образцы обрабатывались в течение 5, 10, 15, 30 секунд, 1 и 3 минут, мощность составляла 220 Вт. Результаты измерения контактного угла смачиваемости образцов были следующими: контактный угол смачиваемости контрольного образца 70°, при 5 с облучения угол смачиваемости снизился до 68°, при 10 с облучения до 43°, при 15 с облучения до 54°, при 30 с облучения до 48°, при 1 мин облучения до 30°, при 3 мин облучения до 0°(таблица 3).

Таблица 3. Результаты измерения контактного угла смачиваемости образцов

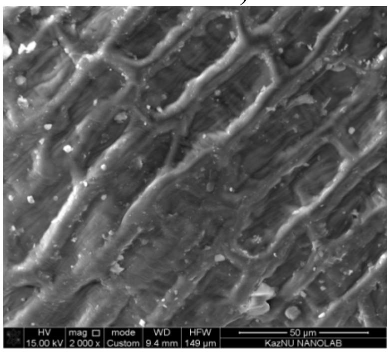
Время облучения	Контактный угол, °
Контрольный	70°
5 с	68°
10 с	43°
15 с	54°
30 с	48°
1 мин	30°
3 мин	0°

Как видно из этих результатов, после обработки плазмой ДКПБР образцы стали гидрофильными, то есть, смачиваемость данных образцов стала выше, что способствует дальнейшей всхожести семян. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами других исследований [24].

Морфология поверхности семян пшеницы после обработки плазмой ДКПБР также была изучена с помощью сканирующей электронной микроскопией (SEM). Семена пшеницы обработаны плазмой ДКПБР в течение 15 секунд, обработанные семена сравнивали с необработанными образцами (рис. 5). Как показывают результаты, особо заметных структурных повреждений не наблюдается.



а)



б)

Рисунок 5 – Поверхностная морфология необработанного (а) и обработанного плазмой в течение 15 с образцов (б). Магнификация 2000

Известно, что прорастание семян является одним из важных этапов в жизни растения. На самых ранних этапах прорастания эмбрион гетеротрофен и требует наличия поддерживающей системы для продолжения роста до тех пор, пока растения не достигнут фотосинтетического, аутотрофного статуса. У злаков эта поддерживающая система, как правило, представлена крахмальным эндоспермом. Альфа-амилаза - основной фермент зерна злаковых, участвующий в мобилизации крахмала и, следовательно, скорости прорастания и роста проростков. Альфа-амилаза образуется в ходе прорастания зерна. Без активной α-амилазы зерно злаковых теряет способность к прорастанию.

Активность фермента альфа-амилазы была измерена с помощью метода ДНС (рис. 6). Метод проверки активности фермента альфа-амилазы методом DNS показал, что наибольшая активность альфа-амилазы в первый день достигается при обработке плазмой 5 с, а во второй и третий дни при обработке плазмой 15 секунд. Как было сказано выше, активность альфа-амилазы является ключевым фактором роста эмбриона и дальнейшей всхожести растения, следовательно, наибольшая активность альфы-амилазы способствует наилучшей всхожести семян, и обработка плазмой атмосферного давления семян дает лучший результат по сравнению с контрольным образцом.

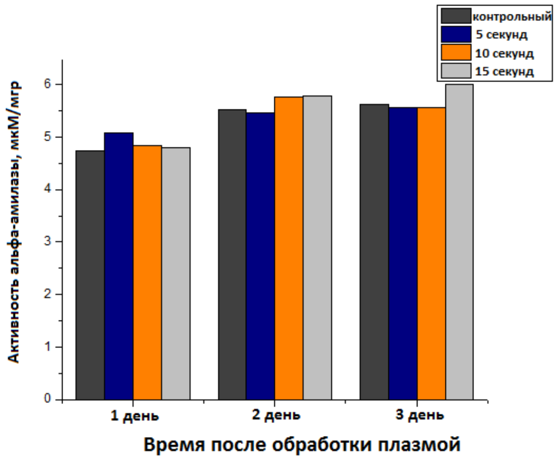


Рисунок 6 – Результаты проверки активности альфа-амилазы методом ДНС

Это исследование было поддержано проектом ИРН AP05134280, финансируемым Министерством образования и науки Республики Казахстан.

Список литературы

1. S. de Sousa Araújo, S.Paparella D.Dondi, Physical Methods for Seed Invigoration: Advantages and Challenges in Seed Technology // Front Plant Sci. - 2016; 7: 646.
2. Afzal I., Mukhtar K., Qasim M., Magnetic stimulation of marigold seed // Int. Agrophys. (2012) 26 335–339.
3. Abdel-Hady M. S., Okasha E. M., Soliman S. S. A., Talaat M. Effect of gamma radiation and gibberellic acid on germination and alkaloid production in Atropa belladonna // L. Aust. J. Basic Appl. Sci. (2008)2. 401–405.
4. E.Bormashenko, Ye.Shapira,R.Grynyov Interaction of cold radiofrequency plasma with seeds of beans (Phaseolus vulgaris) // Journal of Experimental Botany, 2015,66, 4013–4021.
5. A.Gholami, H. Ghomi, N.NavabSafa Effect of Low Pressure Radio Frequency Plasma on Ajwain Seed Germination // Plasma Medicine,2017, 6(3).
6. Guo Q, Meng Y, Qu G, Wang T, Yang F, Liang D, Hu S Improvement of wheat seed vital-

ity by dielectric barrier discharge plasma treatment // Bioelectromagnetics. 2018 39(2):120-131.

7. Ye. Park, K. Suk Oh, J. Oh The biological effects of surface dielectric barrier discharge on seed germination and plant growth with barley // Processes and Polymers, 2016. 15(2).

8. QiaoGuo, Ying Wang, Haoran Zhang Alleviation of adverse effects of drought stress on wheat seed germination using atmospheric dielectric barrier discharge plasma treatment // Scientific Reports, 2017, 7(1).

9. V.Štěpánová, P.Slavíček, J.Kelar, J.Prášil, M.Smékal, M.Stupavská, J.Jurmanová, M.Černák Atmospheric pressure plasma treatment of agricultural seeds of cucumber (Cucumissativus L.) and pepper (Capsicum annuum L.) with effect on reduction of diseases and germination improvement // Plasma Process Polym. 2017;e1700076.

10. Акильдинова А.К., Усенов Е.А., Пазыл А.С., Габдуллин М.Т., Досболаев М.К., Рамазанов Т.С., Данияров Т.Т., Электрические и оптические свойства диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда // Вестник. Серия физическая. ¬ 2018. ¬ №2 (65). ¬ 58-65 с.

11. N.Puač, M.Gherardi, M.Shiratani Plasma agriculture: A rapidly emerging field // Plasma Process Polym. 2017;e1700174.

12. M.Henselová, Ľ.Slováková, M.Martinka& A.ZahoranováGrowth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma // Biologia,2012,67/3: 490—497.

13. R. Zhou, R. Zhou, X. Zhang, J.Zhuang, S. Yang, K.Bazaka& K. (Ken) Ostrikov Effects of Atmospheric-Pressure N2, He, Air, and O2 Microplasmas on Mung Bean Seed Germination and Seedling Growth // Scientific Reports | 6:32603 | DOI: 10.1038/srep32603.

14. Li Ling, Li Jiangang, ShenMinchong, Zhang Chunlei& Dong YuanhuaCold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress // Scientific Reports | 5:13033 | DOI: 10.1038/srep13033.

15. S. I.Hosseini, S.Mohsenimehr, J.Hadian, Physico-chemical induced modification of seed germination and early development in artichoke (Cynarascolymus L.) using low energy plasma technology // Phys. Plasmas 25, 013525 (2018).

16. M.Shiratani, M. Hori, Current status and future prospects of agricultural applications using atmospheric-pressure plasma technologies//Plasma Process Polym. 2017; doi: 10.1002/ppap.20170007.

17. S.Mošovskáa, A.Zahoranová Cold atmospheric pressure ambient air plasma inhibition of pathogenic bacteria on the surface of black pepper//Food Research International 2018,106862–869.

18. Černák M., Kováčik D., Ráheľ J., Sťaheľ P., Zahoranová A., Kubincová J., Tóth A., Černáková Ľ.: Generation of a high-density highly non.equilibrium air plasma for high-speed large-area flat surface processing, Plasma Phys. Control. Fusion 53 (2011) 124031 (8pp).

19. Offerhaus B., Lackmann J., Kogelheide F., Spatially resolved measurements of the physical plasma parameters and the chemical modifications in a twin surface dielectric barrier discharge for gas flow purification // Plasma Process Polym. 2017. P. 1-14.

20. MounirLaroussi, From Killing Bacteria to Destroying Cancer Cells: 20 Years of Plasma Medicine // Plasma Process. Polym. – 2014. Vol. 11, No. 1138. – P. 345.

21. Michael Keidar, Plasma for cancer treatment // Plasma Sources Sci. Technol. – 2015. Vol.24, No. 033001. – P. 138.

22. Ebrahim M. K., Stress/tolerance responses of two cotton cultivars exposed to ultraviolet-A (366 nm): Photosynthetic performance and some chemical constituents // Agrochimica. ¬2004. ¬ Vol. 48, No. 5/6. ¬ P. 177–191.

23. StanislavKyzek, ĽudmilaHolubova, VeronikaMedveck, JulianaTomekova, Eliška Galova, Anna Zahoranova Cold Atmospheric Pressure Plasma Can Induce Adaptive Response in Pea Seeds// Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2018. ¬ https://doi.org/10.1007/s11090-018-9951-x.

24. Daniela Dobrin, Monica Magureanu, Nicolae Bogdan Mandache, Maria-Daniela Ionita The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth // Innovative Food Science and Emerging Technologies, doi: 10.1016/j.ifset.2015.02.006

Принято к печати 15.04.2018

Приложение 1

Таблица 2 –Эффективность обработки плазмой семян яровой мягкой пшеницы

	Число растений	Масса проростков (г/растение)	Масса надземной части (г/растение)	Масса корней (г/растение)
Контроль	33	1.47±0.012	0.75±0,023	0.3±0.015
Обработка плазмой				
5 секунд	50	1.7±0.015*	0.92±0,009	0.48±0.023*
10 секунд	42	1.68±0.018*	1.0±0,011*	0.43±0.018*
15 секунд	48	1.74±0,02*	1.08±0,005*	0.54±0.021*

*p<0,005 по сравнению с контролем.

А.А. Акильдинова[1,2], Е.А. Үсенов[1,2], А.К. Бисенбаев[3], М.Т. Габдуллин[1], М.Қ. Досболаев[1], Т.Т. Данияров[2], Т.С. Рамазанов[1]

[1]*АТҰНЗ, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан*

[2]*Қолданбалы ғылымдар және ақпараттық технологиялар институты, Алматы қ., Қазақстан*

[3]*Биология және биотехнология мәселелері ҒЗИ, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан*

e-mail: akildinova@physics.kz

ДКББР ПЛАЗМАСЫМЕН ӨҢДЕУДІҢ БИДАЙ ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ ӨСУІ МЕН α-АМИЛАЗА БЕЛСЕНДІЛІГІНЕ ӘСЕРІ

Аннотация. Бұл мақалада диэлектрлік копланар беттік барьер разрядының плазмасымен өңдеудің бидай тұқымдарының өсуі мен α-амилаза белсенділігіне әсері зерттелді. Диэлектрлік копланар беттік барьер разрядының (ДКББР) оптикалық қасиеттері зерттелді. Оптикалық эмиссиялық спектроскопияның нәтижесі ДКББР сәулелену спектрінде молекулярлық азот сызықтары бар екенін көрсетті, атап өткенде, екінші оң (N_2 (CB)) және бірінші теріс (N_2^+ (BX)) жүйелері, сонымен бірге төмен интенсивті OH және NO сызықтары. Сондай-ақ, әртүрлі қуат беру кезіндегі температураны анықтау үшін, сондай-ақ термиялық әсерлерін болдырмау үшін эксперименттік қондырғының бетінің температурасын өлшеу зерттеулері жүргізілді. Өлшеу нәтижелері полимер беттері мен ауылшаруашылық дақылдарын өңдеу кезінде термиялық эффектіні ескермеуге болатынын көрсетті.Диэлектрлік копланар беттік барьер разрядының плазмасымен бидай тұқымдарын өңдеу нәтижелері ДКББР плазмасы бидай дақылдарының өсуі мен α-амилаза белсенділігіне оң әсерін тигізетінін көрсетті. Сондай-ақ, өсірілген тұқымдардың биометриялық көрсеткіштері плазмалық өңдеуден кейін айтарлықтай жоғары болды.

Түйін сөздер: диэлектрлік барьер разряды, диэлектрлік копланар беттік барьер разряды, бидай тұқымдарын өңдеу, α-амилаза.

А.А. Акильдинова[1,2], Е.А. Үсенов[1,2], А.К. Бисенбаев[3], М.Т. Габдуллин[1], М.Қ. Досболаев[1], Т.Т. Данияров[2], Т.С. Рамазанов[1]

[1]*ННЛОТ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040, Алматы, Казахстан*

[2]*Институт прикладных наук и информационных технологий, 050040, Алматы, Казахстан*

[3]*НИИ Проблем биологии и биотехнологии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби,050040, Алматы, Казахстан*

e-mail: akildinova@physics.kz

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПЛАЗМОЙ ДКПБР НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТА α-АМИЛАЗЫ

Аннотация. В этой статье были изучены влияние плазменной обработки семян пшеницы на всхожесть семян и активность фермента α-амилазы. Были исследованы оптические свойства диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда (ДКПБР). Результаты оптической эмиссионной спектроскопии показали наличие полос молекулярного азота в спектре излучения ДКПБР, а именно, второй положительной (N_2 (CB)) и первой отрицательной (N_2^+ (BX)) систем, а также низкоинтенсивного OH и линий NO. Также с целью определения температуры при разных подаваемых мощностях, а также для исключения тепловых эффектов диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда при дальнейших исследованиях по обработке агрокультур и полимерных материалов был проведен ряд экспериментов для измерения температуры поверхности экспериментальной установки. Данные измерения показали, что при дальнейших исследованиях по обработке полимеров и сельскохозяйственных культур тепловые эффекты можно исключить. Результаты по обработке семян пшеницы плазмой диэлектрического копланарного поверхностного барьерного разряда показали, что плазма ДКПБР оказывает положительное влияние на рост семян пшеницы и на активность фермента α-амилазы. Также было показано, что биометрические показатели проросших семян были значительно выше после плазменной обработки.

Ключевые слова: диэлектрический барьерный разряд, диэлектрический копланарный поверхностный барьерный разряд, обработка семян пшеницы, α-амилаза.

A. Akildinova[1,2], Y. Ussenov[1,2], A.K. Bissenbaev[3], M.T. Gabdullin[1], M.K. Dosbolayev[1], T.T. Daniyarov[2], T.S. Ramazanov[1]

[1]*NNLOT, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

[2]*Institute of Applied Sciences and Information Technologies, Almaty, Kazakhstan*

[3] *SRI Of Biology and Biotechnology Problems, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

THE EFFECT OF DCSBD PLASMA TREATMENT ON WHEAT SEED GERMINATION AND A-AMYLASE ENZYME ACTIVITY

Abstract. In this paper, we studied the effects of plasma treatment of wheat seeds on germination and α-amylase enzyme activity. In order to characterize the plasma the optical properties of the dielectric coplanar surface barrier discharge (DCSBD) were investigated. The results of optical emission spectroscopy showed the presence of molecular nitrogen bands in the emission spectrum of the DCSBD, namely, the second positive (N_2 (C-B)) and the first negative (N_2 + (B-X)) systems, and low-intensity OH and NO lines. Also, in order to determine the temperature at different supplied powers, as well as to exclude thermal effects of a dielectric coplanar surface barrier discharge, further studies on the processing of agricultural crops and polymeric materials were carried out to measure the surface temperature of the experimental setup. These measurements have shown that with further research on the processing of polymers and crops, thermal effects can be excluded.The results showed that the plasma of DCSBD has a positive effect on germination rate of wheat seed sand α-amylase enzyme activity during the growth. Also, the biometric indicators of germinated seeds were significantly higher after the plasma processing.

Keywords: plasma treatment, dielectric coplanar surface barrier discharge, wheat seed,α-amylase.

МРНТИ 28.23.29

Г.А. Самигулина[1], Ж.А. Масимканова[2]
[1] Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан
[2] Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ КООПЕРАТИВНОГО АЛГОРИТМА РОЯ ЧАСТИЦ, ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ И ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Аннотация. Статья посвящена разработке модифицированного алгоритма на основе кооперативного алгоритма роя частиц и искусственных иммунных систем для прогнозирования зависимости «структура-свойство/активность» (QSAR) лекарственных соединений. Построение оптимального набора дескрипторов выполняется на основе кооперативного алгоритма роя частиц. Распознавание образов и прогноз молекул-кандидатов в лекарственные препараты осуществляется с использованием искусственных иммунных систем (ИИС).Разработанный модифицированный алгоритм позволяет сократить время обучения ИИС и повысить точность прогнозирования за счет построенного оптимального набора данных.Для систематизации данныхи облегчения создания программного обеспечения построена OWLмодель кооперативного алгоритма роя частиц в редакторе онтологий Protégé. Приведены результаты моделирования с использованием базы данных сульфаниламидов.

Ключевые слова: Smart-технология прогнозирования, зависимость «структура-свойство/активность» (QSAR), кооперативный алгоритм роя частиц, искусственные иммунные системы, OWL модель, лекарственные препараты.

Введение

В настоящее время актуальна разработка и внедрение эффективных Smart-технологий на основе интеллектуальных методов для обработки и анализа химических данных и прогнозирования зависимости «структура-свойство/активность» (QSAR) новых лекарственных соединений. Разработка нового лекарственного препарата занимает порядка 10 лет и стоит приблизительно 2 558 млрд. долларов США [1]. Несмотря на высокий уровень инвестиций, только 13% отбирается в кандидаты лекарственных препаратов. Широкое применение получили Smart-технологии для прогнозирования биологической активности, токсичности, физико-химических свойств, побочных эффектов и др. Активно ведутся исследования [2] с использованием нейронных сетей, алгоритмов роевого интеллекта, искусственных иммунных систем, генетических алгоритмов и др. Широко используются алгоритмы роевого интеллекта для предварительной обработки химических данных, выделения информативных дескрипторов и построения оптимальной иммуносетевой модели[3]. Применение этих алгоритмов позволяет облегчить процесс прогнозирования и отбора новых химических соединений с желаемыми свойствами в потенциальные кандидаты лекарственных препаратов.

Существует ряд работ по данной теме. Статья [4] посвящена сравнению метода роя частиц (PSO, particleswarmoptimization)и генетического алгоритма для создания QSAR модели циклооксигеназа (COX, cylcooxygenase). В результате сравнения PSO алгоритм выбран для отбора дескрипторов, которые показывают активностьи селективность химического соединения кCOX.В работе [5] предлагаются эволюционные алгоритмыи PSO алгоритм для прогнозирования свойств химических соединений. Исследования выполнены с использованием программного продукта AutoDock. Сравнение результатов моделирования показывает эффективность применение PSO алгоритма. Исследования [6] посвящены совместному использованию хаотического алгоритма оптимизации (COA, Chaoticoptimizationalgorithm) и PSO алгоритма для улучшения точности прогноза при выборе наборов данных с определенными фармакологическими свойствами. Результаты эксперимента показывают, что предложенная модель имеет хорошую обучаемость и повышает точность прогнозирования. В статье [7] сравниваются интеллектуальные методы (k-ближайших соседей, логической регрессии, метод опорных векторов и искусственных иммунных систем) для определения индицирующего потенциала фосфолипида. Наилучшие прогнозы получены с помощью искусственных иммунных систем и метода опорных векторов.

Проведенный анализ современных публикаций по данной тематике подтверждает актуальность применения модифицированных алгоритмов роя частиц и искусственных иммунных систем для прогнозирования зависимости «структура – свойство/активность» химических соединений.

Постановка задачи формулируется следующим образом: необходимо разработать модифицированный алгоритм на основе кооперативного алгоритма роя частиц, искусственных иммунных систем и онтологического подхода для прогнозирования зависимости «структура-свойство/активность» новых лекарственных препаратов сульфаниламидной группы.

Для более эффективного и детального исследования многомерного пространства, построения оптимальной иммунносетевой модели, уменьшения времени обучения ИИС, повышения точности прогнозирования разработан модифицированный алгоритм (CPSO-AIS) на основе кооперативного алгоритма роя частиц (CPSO, Cooperativeparticleswarmoptimization) [8] и подхода искусственных иммунных систем (AIS, Artificialimmunesystem).

Алгоритм CPSO-AIS:

Шаг 1. Решается задача построения информативного набора дескрипторов на основе кооперативного алгоритма роя частиц.

Шаг 2. Выполняется инициализация пространства поиска. Создаются популяции агентов основного роя и подчинённых роев. Производится случайная генерация начальных положений и скоростей всех агентов.

Шаг 3. Выполняется параллельное вычисление фитнесс-функций каждого подчинённого роя. Определяются лучшие положения агентов подчинённых роев (p_g^s). Сравниваются лучшие положения агентов подчинённых роев.

Шаг 4. Передаются лучшие положения в основной рой. Обновляются положения (x_i^M) и скорости (v_i^M) агентов основного роя по формулам [9]:

$$v_i^M(t+1) = wv_i^M(t) + r_1c_1 + \Phi r_2c_2\left(p_g^M - x_i^M(t)\right) + (1-\Phi)r_3c_3\left(p_g^s - x_i^M(t)\right),$$

$$x_i^M(t+1) = x_i^M(t) + v_i^M(t), \quad i = 1, 2, \dots n,$$

где t −итерация, w − вес инерции, M −мастер-рой, S − подчинённые рои, r_1,r_2, r_3, − равномерно распределенные случайные числа в интервале [0,1], c_1,c_2, c_3− коэффициенты ускорения, p_g^M − лучшее положение частицы в мастер-рое, p_g^s − лучшее положение частицы в подчинённых роях.

Шаг 5. Осуществляется миграция всех агентов по формуле:

$$\phi = \begin{cases} 0 & Gbest^s < Gbest^M, \\ 0.5 & Gbest^s = Gbest^M, \\ 1 & Gbest^s > Gbest^M. \end{cases}$$

где ϕ − фактор миграции, $Gbest^s$ − значение фитнес-функции, определенное для p_g^s, $Gbest^M$ − значение фитнес-функции, определенное для p_g^M.

Шаг 6. Обновляются положения и скорости агентов подчинённых роев. Проверяются условия завершения. Сохраняется лучшее положение агента основного роя (p_g^M).

Шаг 7. Осуществляется редукция малоинформативных дескрипторов. Формируется БД выделенного информативного набора дескрипторов.

Шаг 8. Решается задача распознавания образов на основе иммунносетевого алгоритма.

Шаг 9. Построение оптимальной иммунносетевой модели на основе выделенного набора дескрипторов. Под оптимальной структурой иммунной сети понимается сеть, построенная на основе весовых коэффициентов выделенных информативных дескрипторов, наиболее полно характеризующих рассматриваемое химическое соединение. Критерием является максимальное сохранение информации при минимальном количестве дескрипторов.

Шаг 10. Создание матриц эталонов и матриц образов, сформированных из временных рядов дескрипторов.

Шаг 11. Обучение ИИС с учителем.

Шаг 12. Сингулярное разложение матриц (SVD). Определение энергий связи. Оценка энергетических погрешностей по гомологичным белкам [10].

Шаг 13. Распознавание образов на основе определения минимума значения энергии связи.

*Шаг 14.*Прогноз свойств и отбор кандидатов новых химических соединений.

Для анализа применяемыхалгоритмов, структуризации данных и создания программного обеспечения актуальна разработка онтологических(OWL, WebOntologyLanguage)моделей. На рисунке 1 представлена OWLмодельCPSOалгоритма в редакторе онтологий Protégé. В алгоритме создается один основной рой (Generation_MaterSwarm) и несколько подчинённых роев (Generation_SlaveSwarms). Начальные положения (Random_Positions) и скорости (Random_Velocities) агентов задаются случайно. Далее параллельно вычисляются фитнесс-функции каждого подчинённого роя и сравниваются их лучшие значения (Comparison_Gbests). Затем обновляются скорости и положения агентов основного роя. Далее агенты перемещаются, обновляют положения (Update_SlaveSwarms_Positions) и скорости (Update_SlaveSwarms_Velocities) подчинённого роя. Проверяются условия завершения и после каждой итерации сохраняется лучшее значение агента основного роя (MasterSwarm_Gbest).

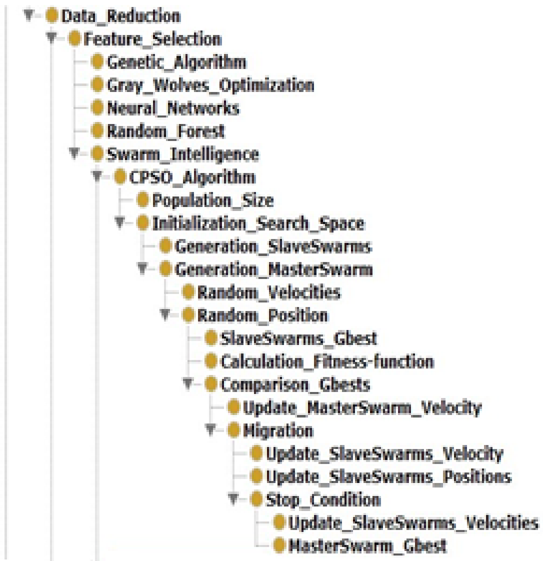


Рисунок 1 – OWL модель CPSOалгоритма

Предложенный CPSOалгоритм отличается возможностью детального исследования пространства поиска. В алгоритме у каждого подчинённого роя существует отдельная память, что позволяет каждому рою действовать самостоятельно. Агенты не стремятся к локальному лучшему значению, что решает проблему преждевременной сходимости. Достоинством CPSO алгоритма является параллельное действие агентов подчинённого роя, которое позволяет увеличить скорость вычисления алгоритма. Предложенный алгоритм отличается простотой программной реализации.

Ниже привены результаты моделирования. В качестве базы данных для исследования эффективности предложенного метода используются дескрипторы сульфаниламидов на базе ресурсовMol-instincs и PubChem, которая состоит из более 1500 дескрипторов разных уровней. Рассмотренные химические соединения классифицированы на сульфаниламиды короткого действия, средней длительности действия и длительного действия. Используются такие дескрипторы (Табл. 1, приложение 1), как: количество атомов, количество атомов карбона, относительное количество атомов водорода, молекулярный вес, количество связей, гравитационный индекс и др.

Алгоритм реализован на языке программирования Python. На рисунке 2 (приложение 2) представлен график выбранных информативных дескрипторов с использованиемCPSOалгоритма на примере лекарственных соединений сульфаниламидной группы. В результате из 1500 дескрипторов были выбраны 60 информативных дескрипторов.

После отбора информативных дескрипторов согласно алгоритмуCPSO-AIS осуществляется прогноз зависимости «структура-свойство/активность» новых лекарственных препаратов.

Работа выполнена по гранту КН МОН РК на тему: "Разработка и анализ баз данных для информационной системы прогнозирования зависимости "структура-свойство" лекарственных соединений на основе алгоритмов искусственного интеллекта" (2018-2020 гг.)

Список литературы

1 Zhong F., Xing J., Li X., etc. Artificial intelligence in drug design // Science China Life Sciences. – 2018. – Vol. 61, Issue 10. – P. 1191-1204.

2 Dobchev A., Dimitar G., Pillai G., etc. In Silico Machine Learning Methods in Drug Development // Current Topics in Medicinal Chemistry. – 2014. – Vol. 14, No 16. – P. 1913-1922.

3 Samigulina G.A., Massimkanova Zh.A. Construction of optimal immune network model based on swarm intelligence algorithms for computer design of new drugs // Proceedings of VII International Conference «Optimization problems and their applications, OPTA-2018». – Omsk, 2018. – P.349-358.

4 Lü J., Shen Q., Jiang J., Shen G., Yu R. QSAR analysis of cyclooxygenase inhibitor using particle swarm optimization and multiple linear regression // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. – 2004. – Vol. 35, Issue 4. – P. 679-687.

5 Jia Y., Chen W., Zhang J., Li J. Generating Software Test Data by Particle Swarm Optimization // Materials of Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning. - 2014. - P. 37-47.

6 Liu F., Zhou Z. A new data classification method based on chaotic particle swarm optimization and least square-support vector machine // Chemometrics and intelligent laboratory systems. – 2015. – P.147-156.

7 Ivanciuc O. Weka machine learning for predicting the phospholipidosis inducing potential // Curr. Top. Med. Chem. – 2008. – Vol. 8(18). P. 1691-1709.

8 Hayashida T., Nishizaki I., Sekizaki S., Koto S. Cooperative Particle Swarm Optimization in Distance-Based Clustered Groups// Journal of Software Engineering and Applications. – 2017. – Vol. 10. – P. 143-158.

9 Niu B., Zhu Y., He X. A Multi-population Cooperative Particle Swarm Optimizer for Neural Network Training // Advances in Neural Networks. Lecture Notes in Computer Science. – 2006. – Vol. 3971. – P. 570-576.

10 Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Modified immune network algorithm based on the Random Forest approach for the complex objects control // Artificial Intelligence Review. – 2018. – P. 1-17.

Принято в печать 16.03.2019

Приложение 1

Таблица 1 – Фрагмент базы данныхс ульфаниламидов.

Class	Number of atoms	Relative number of C atoms	Relative number of O atoms	Relative number of aromatic bonds	Molecularweight	…	Gravitationindex (allbonds)
short_acting	27,00	0,37	0,07	0,43	250,28	…	1980,80
short_acting	33,00	0,36	0,06	0,29	278,33	…	1916,90
short_acting	31,00	0,35	0,10	0,19	267,30	…	1874,90
short_acting	27,00	0,33	0,07	0,21	270,32	…	1856,90
short_acting	46,00	0,33	0,04	0,17	311,44	…	2335,90
short_acting	33,00	0,36	0,06	0,29	278,33	…	1916,90
short_acting	46,00	0,33	0,04	0,17	311,44	…	2335,90
medium_acting	24,00	0,33	0,13	0,13	214,24	…	1408,30
medium_acting	35,00	0,34	0,11	0,31	310,33	…	2401,50
medium_acting	28,00	0,36	0,11	0,32	253,28	…	1949,40
medium_acting	31,00	0,35	0,10	0,31	267,30	…	2111,70
Long_acting	35,00	0,34	0,11	0,31	310,33	…	2401,50
Long_acting	36,00	0,42	0,06	0,41	314,36	…	2118,10
Long_acting	31,00	0,35	0,10	0,19	280,30	…	1960,30
Long_acting	30,00	0,37	0,07	0,29	264,30	…	1843,00

Приложение 2

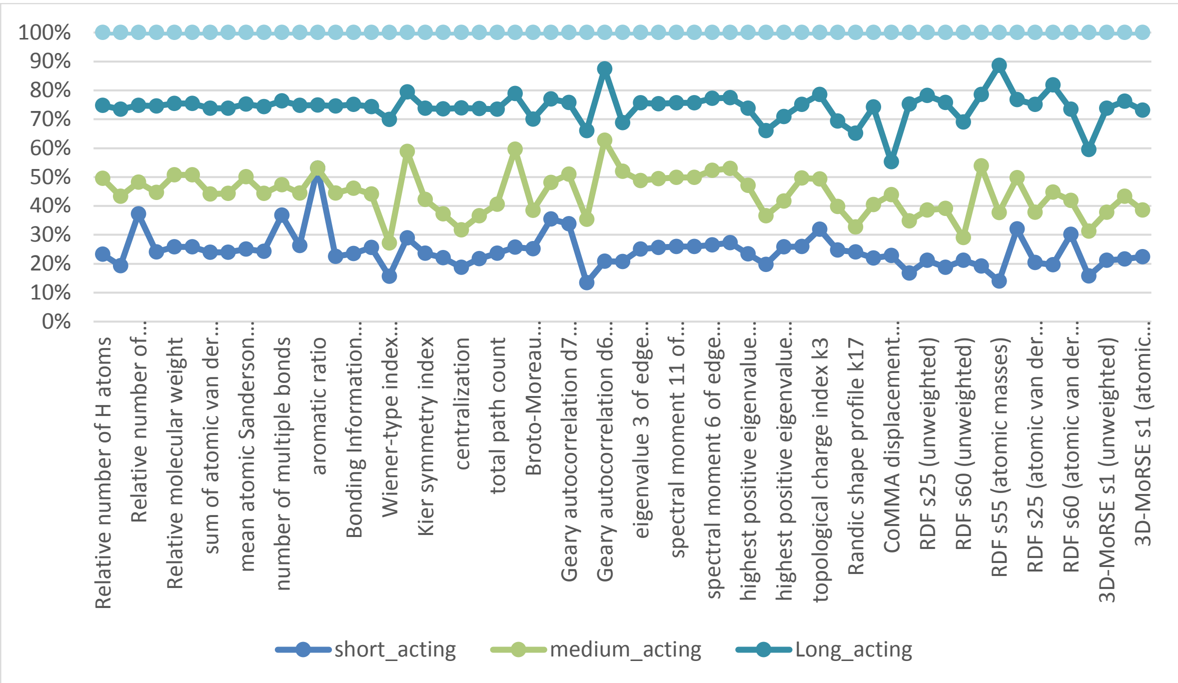


Рисунок 2 – Визуализация выбранных информативных дескрипторов на основе CPSO алгоритма

Г.А. Самигулина[1], Ж.А. Масимканова[2]
[1] *Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан*
[2] *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ КООПЕРАТИВНОГО АЛГОРИТМА РОЯ ЧАСТИЦ, ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ И ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Аннотация. Статья посвящена разработке модифицированного алгоритма на основе кооперативного алгоритма роя частиц и искусственных иммунных систем для прогнозирования зависимости «структура-свойство/активность» (QSAR) лекарственных соединений. Построение оптимального набора дескрипторов выполняется на основе кооперативного алгоритма роя частиц. Распознавание образов и прогноз молекул-кандидатов в лекарственные препараты осуществляется с использованием искусственных иммунных систем (ИИС).Разработанный модифицированный алгоритм позволяет сократить время обучения ИИС и повысить точность прогнозирования за счет построенного оптимального набора данных.Для систематизации данныхи облегчения создания программного обеспечения построена OWLмодель кооперативного алгоритма роя частиц в редакторе онтологий Protégé. Приведены результаты моделирования с использованием базы данных сульфаниламидов.

Ключевые слова: Smart-технология прогнозирования, зависимость «структура-свойство/активность» (QSAR), кооперативный алгоритм роя частиц, искусственные иммунные системы, OWL модель, лекарственные препараты.

Г.А. Самигулина[1], Ж.А. Масимканова[2]
[1]*ҚР БҒМ ҒК Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан*
[2]*әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан*

ОНТОЛОГИЯЛЫҚ ӘДІС, ЖАСАНДЫ ИММУНДЫҚ ЖҮЙЕЛЕР ЖӘНЕ КООПЕРАТИВТІК ҮЙІР АЛГОРИТМІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ЖАҢАРТЫЛҒАН АЛГОРИТМ ҚҰРУ

Аннотация. Мақала дәрілік қосылыстардың «құрылым-қасиет/белсенділік» тәуелділігін (QSAR) болжау үшін кооперативтік үйір алгоритмі мен жасанды иммундық жүйелер негізінде жаңартылған алгоритм құруға арналған. Дескрипторлардың оңтайлы жиынтығын құру кооперативтік үйір алгоритмінің негізінде жүзеге асырылады. Дәрі-дәрмектің кандидат-молекулаларын тану және болжау жасанды иммундық жүйелер (ЖИЖ) арқылы орындалады. Құрастырылған жаңартылған алгоритм оңтайлы деректер жиынтығының арқасында оқу уақытын қысқартуға және болжамдаудың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Деректерді жүйелеу және бағдарламалық жасақтаманы құруды жеңілдету үшін Protégé онтологиялық редакторында кооперативтік үйір алгоритмінің OWL моделі құрылды. Сульфаниламид деректер базасын пайдалана отырып моделдеунәтижелерікелтірілді.

Түйін сөздер: Болжамдаудың Smart-технологиясы,«құрылым-қасиет/белсенділік» тәуелділігі (QSAR), кооперативтік үйір алгоритмі, жасанды иммундық жүйелер, OWL модель, дәрі-дәрмектер.

G.A. Samigulina[1], Zh.A. Massimkanova[2]
[1]Institute of Information and Computational TechnologiesCS MES RK, Almaty, Kazakhstan
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

THE DEVELOPMENT OF MODIFIED ALGORITHM BASED ON COOPERATIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION, ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS AND ONTOLOGICAL APPROACH

Abstract. The article is devoted to the development of modified algorithm based on cooperative particle swarm optimization and artificial immune systems for forecastingquantitative «structure-property/activity» relationship (QSAR) of medicinal compounds. The construction of an optimal set of descriptors has been performed on the basis of a cooperative particle swarm optimization algorithm.Pattern recognition and prognosis of candidatemolecules of drugs has been carried out using artificial immune systems (AIS).The developed modified algorithm allows to reduce learning time of AIS and improve forecasting accuracy due to the constructed optimal data set. For systematization data and simplification of creating softwarethe OWL model of cooperative particle swarm optimizationhas been built in Protégé ontology editor. The simulation results using the sulfonamide database are given.

Keywords: Smart-technology forforecasting, «structure-property/activity» relationship (QSAR), cooperative particle swarm optimization, artificial immune systems, OWLmodel, drugs.

МРНТИ 34.39.17.

Р.А. Чиженкова
Институт биофизики клетки РАН, Россия, Московская область, г. Пущино

БИОПОТЕНЦИАЛЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. Рассмотрены результаты разносторонних исследований перестроек биопотенциалов головного мозга, возникающих под влиянием постоянного магнитного поля (ПМП). На кроликах установлено, что одноминутное воздействие ПМП интенсивностью 460 э вызывает изменение ЭЭГ в виде повышения его амплитуды и увеличения числа вспышек веретенообразной активности. Обнаружена роль способа включения и выключения электромагнита на развитие данных перестроек ЭЭГ. Включение электромагнита посредством реостата повышало вероятность и интенсивность перестроек ЭЭГ, что свидетельствует об участии э.д.с. индукции в развитии перестроек биопотенциалов непосредственно под влиянием ПМП. В связи с этим имела место сложная динамика развития электрической реакции на ПМП, включающая события во время и после воздействия. Надо признать, что перестройки биопотенциалов при действии ПМП затрагивали не только кору больших полушарий, но отражались и на состоянии других образований мозга. Тип этих изменений определялся исходными особенностями рисунка потенциалов. Можно предположить, что исследованная структура изменений биопотенциалов мозга под влиянием ПМП представляет функциональные перестройки в деятельности мозга, которые могут развиваться и при иных обстоятельствах. Действительно, близкие изменения биопотенциалов были получены у этих же животных под влиянием звукового раздражения (тон 200 Гц интенсивностью 0.012 дин/см^2).

Ключевые слова: постоянное магнитное поле, биопотенциалы мозга.

Введение

Интерес к биологическому действию неионизирующей радиации существует у человечества не одно столетие и даже тысячелетие. Становление современной электромагнитной биологии связано с именами Л. Гальвани, Ф. Цана, М. Шиффа, М. Д'Арсонваля, Н. Теслы и других не менее известных физиков, биологов и медиков. Наиболее четко на высоком естественнонаучном уровне проблема биологического действия неионизирующей радиации впервые была рассмотрена И.Я. Данилевским [9].

Несомненно, что изменения в организме, вызываемые неионизирующим излучением, в том числе и постоянным магнитным полем (ПМП), связаны с деятельностью нервной системы, которая принимает участие в организации как физиологических, так и патологических, перестроек [7].. Положение о значительной роли нервной системы в реакциях организма животных и человека на неионизирующую радиацию было разработано в основном советскими и потом российскими исследователями. Инициатором создания данного направления исследований был акад. М.Н. Ливанов [9]. В проведении этих исследований принимала участие автор данной статьи [9]. Затем указанные работы были продолжены [6, 9-19].

Цель настоящей статьи состоит в том, чтобы подвести некий итог разработки рассматриваемой проблемы на основе электрофизиологических исследований ее автора. Для этого были выбраны следующие моменты: 1. выявление ЭЭГ- реакций на ПМП; 2. анализ характеристик ЭЭГ - реакций на ПМП; 3. динамика перестроек ЭЭГ при воздействии ПМП; 4. определение изменений биопотенциалов подкорковых образований во время ЭЭГ - реакции на ПМП; 5. сравнение ЭЭГ - реакций на ПМП с изменениями ЭЭГ на иные, в частности звуковые, слабые раздражители. Имеют место и иные аспекты изучения нейрофизиологических эффектов ПМП. Но они будут представлены в другом месте.

Методика

Опыты проводили на 46 взрослых кроликах (самцах) породы шиншилла. Для записи ЭЭГ использовали игольчатые электроды, вколотые в кость над сенсомоторными и зрительными областями коры больших полушарий. ЭЭГ регистрировали монополярно. Помимо этого, 13 кроликам вживляли нихромовые электроды диаметров 100 мк с правой стороны в гиппокамп, специфические и неспецифические ядра таламуса, гипоталамус, субталамус и ретикулярную формацию среднего мозга. Индифферентный электрод размещали на носовой кости или на ухе животного.

Опыты начинали через 8-12 дней после операции, когда наблюдалась нормализация гистологической картины мозга. После окончания опытов места вживления электродов маркировали пропусканием тока высокой частоты и животных забивали для проведения морфологического контроля.

ПМП создавали электромагнитом с питанием постоянным током. Интенсивность поля составляла 460 э. Воздействию подвергалась голова животного. Для звукового раздражения применяли тон 200 Гц интенсивностью 0.012 дин/см2. В контрольных исследованиях биопотенциалы мозга записывали при тех же условиях, но без генерации поля. При статистическом анализе применяли критерий знаков и использовали сравнение двух выборочных долей вариант.

Результаты исследований

Изменения ЭЭГ кроликов при действии ПМП затрагивали амплитудные и частотные характеристики потенциалов. Появление выраженных медленных волн сопровождалось одновременным увеличением амплитуды как относительно медленных волн, так и волн довольно высоких частот. Данный эффект продемонстрирован в таблице 1.

Примечания: статистически достоверные повышения амплитуды волн указанных частот отмечены стрелками.

Таблица 1 показывает выявленные случаи статистически достоверных изменений амплитуд волн определенных частот после одноминутного воздействия ПМП интенсивностью 460 э. Заметно, что процесс захватывал состояние как довольно низких, так и весьма высоких частот и, следовательно, не был жестко связан с какими-либо частотными параметрами

Таблица 1. Изменение амплитуды волн различных частот ЭЭГ после одноминутного воздействия ПМП (24 кролика, 354 воздействия)

Частота ЭЭГ Гц	Увеличение амплитуды	Частота ЭЭГ Гц	Увеличение амплитуды
1,5	↑	11	↑
2		12	
2,5		13	
3	↑	14	
3,5		15	
4	↑	16	↑
5	↑	18	↑
6		20	↑
7		22	
8		24	
9	↑	27	↑
10		30	

В результате воздействия ПМП, помимо амплитудных перестроек ЭЭГ, происходило также изменение рисунка ЭЭГ относительно числа так называемых «веретен» (веретенообразных вспышек волновой активности). Данные перестройки ЭЭГ заключались в увеличении числа веретен. Такой эффект развивался не при каждом воздействии ПМП. Прочность реакции (% случаев изменений к общему числу воздействий) была 69.77% (247 случаев из 354 на 24 кроликах). В контрольных записях прочность похожих изменений на описанные реакции, составляла 20.41 % (55 из 270 «ложных» воздействий на 7 кроликах). Различия данных с облучением и в контроле статистически достоверны ($p<0.01$).

Наиболее выраженные реакции по разности в числе веретен до, во время и после воздействия ПМП наблюдались, если в фоновой записи биопотенциалов за 1 мин имело место 4-7 веретен. При меньшем или большем их числе эффект был либо неопределенным, либо слабо выраженным.

Для выяснения роли величины индукции, возникающей в моменты включения и выключения электромагнита, в перестройках биопотенциалов мозга была проведена серия опытов с включением и выключением электромагнита плавно через реостат (в течение 2 сек) и резко тумблером. Непосредственные измерения показали, что возникающая э.д.с. индукции при включении электромагнита тумблером была в 5 раз, а при выключении в 10 раз выше, чем при включении и выключении электромагнита через реостат. Результаты этих исследований продемонстрированы на рисунке 1.

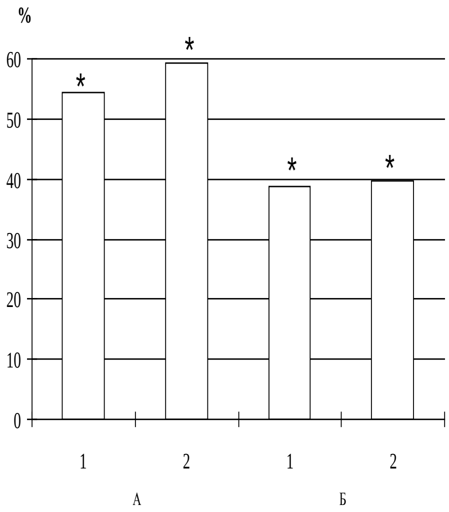


Рисунок 1 – Изменения в % числа веретен в опытах с включением и выключением одноминутного ПМП через реостат и тумблером (10 кроликов)

Примечание: А-включение и выключение посредством реостата (300 воздействий); Б-посредством тумблера (110 воздействий); 1-во время воздействия; 2-после воздействия. Звездочками отмечены статистически значимые отклонения от фона ($p<0.05$-0.001).

Информация, отраженная на данном рисунке, дает четкое представление о том, что перестройки ЭЭГ более выражены при использовании реостата, и указывает на некоторые затруднения для возникновения ЭЭГ - реакции на ПМП при непосредственном включении и выключении электромагнита.

Обнаруженное влияние способов включения и выключения ЭМП на характеристики ЭЭГ - реакции предполагает возможное наличие сложной динамики развития исследуемой реакции. Поэтому были проведены исследования характеристик ЭЭГ в течение 3 минут при одноминутном воздействии. Временные особенности перестроек биопотенциалов приведены на рисунке 2.

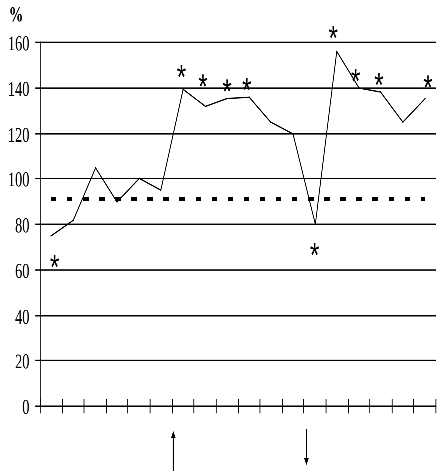


Рисунок 2 – Динамика числа веретен в ЭЭГ сенсомоторной коры при одноминутном воздействии ПМП (14 кроликов, 685 воздействий, включение и выключение тумблером). Пунктирная линия показывает среднее значение по фону (91.17%). Звездочками отмечены статистически достоверные отклонения ($p<0.05$).

Рисунок 2 демонстрирует, что действительно развитие ЭЭГ - реакции на ПМП обладает сложной структурой. Динамика перестроек биопотенциалов включает в некоторой мере раздельные события во время и после воздействия ПМП.

Следующим моментом решения поставленной проблемы было рассмотрение вопроса о диффузности перестроек биопотенциалов мозга при воздействии ПМП и о степени распространения наблюдаемой ЭЭГ - реакции на иные образования мозга. В связи с этим были проведены опыты на 13 животных с записью биопотенциалов не только от коры больших полушарий, но и от ряда подкорковых структур мозга, результаты которых в суммарном виде представлены на рисунке 3.

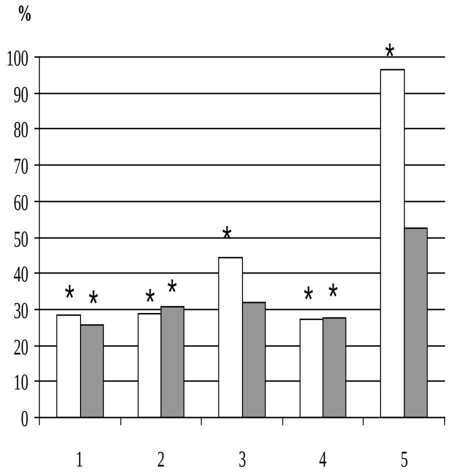


Рисунок 3 – Увеличение в % числа веретен в структурах мозга при одноминутном воздействии ПМП (13 кроликов, 320 воздействий)

Примечание: Столбцы светлые - данные во время воздействия. Столбцы темные - после воздействия. 1-сенсомоторная кора; 2-специфические ядра таламуса; 3-неспецифические ядра таламуса; 4-гипоталамус; 5-субталамус. Звездочками отмечены статистически достоверные отклонения (p<0.05).

На основе информации, представленной на рисунке 3, складывается впечатление, что перестройки биопотенциалов при воздействии ПМП, затрагивают в мозге не только кору больших полушарий, но представляют глобальные изменения в электрической активности мозга. Тем не менее, у каждой структуры мозга присутствуют свои особенности реакции на ПМП, что сказывается на ее выраженности. Однако надо иметь в виду, что выявленные различия могут определяться исходными особенностями рисунка потенциалов. В частности, гиппокамп и ретикулярная формация среднего мозга, в которых реакция на ПМП на основе выбранных критериев практически не выявляется, вообще не склонны генерировать веретена не только при воздействии ПМП, но и без него.

Полученные данные о структуре изменений биопотенциалов мозга при действии ПМП позволяют предположить, что они являются следствием функциональных перестроек в деятельности мозга, которые, что не исключено, могут развиваться и при иных обстоятельствах. Поэтому было целесообразно провести аналогичные исследования ЭЭГ при действии других, в частности звуковых, слабых раздражителей.

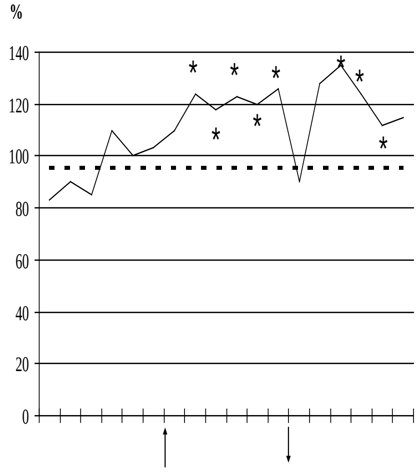


Рисунок 4 – Динамика числа веретен в ЭЭГ сенсомоторной коры при 1-мин. действии слабого звука (12 кроликов, 88 воздействий). Пунктирная линия показывает среднее значение по фону (95.17%). Звездочками отмечены статистически достоверные отклонения (p<0.05).

Выявленные изменения ЭЭГ в большой мере напоминали перестройки биопотенциалов под влиянием ПМП. Они также затрагивали числа вспышек веретенообразной активности, и в них также выделялись события после окончания воздействия.

Обсуждение и заключение

Проведенные исследования установили, что воздействие ПМП несомненно вызывает перестройки биопотенциалов головного мозга, которые преимущественно заключаются в потенциации высокоамплитудных медленных волн и в увеличении числа вспышек веретенообразной активности. Подтверждение наших данных относительно веретенообразной активности были отмечены также и другими исследователями [5]. Причиной указанных реакций несомненно служат не те события, которые развиваются в моменты включения и выключения электромагнита, а непосредственное воздействие ПМП.

Более того, физические отклонения при включении и выключении электромагнита приводят к противоположным изменениям биопотенциалов мозга и могут нарушать уже состоявшуюся ЭЭГ - реакцию на ПМП, что следует из представленных здесь материалов.

Существуют определенные взаимодействия нейронов в мозге между собой, а также между частями одного нейрона, осуществляемые с участием электромагнитных феноменов. В связи с этим воздействие ПМП может оказывать влияние на функционирование нейронных сетей [1, 3, 7, 12, 13, 20].

Особым компонентом постоянного фонового участия в жизнедеятельности всех биологических систем Земли, в том числе и человека, является огромная зона электромагнитных полей, создаваемая космическими факторами, а также процессами, протекающими непосредственно на нашей планете [2, 4].

Следует учесть еще аспект искусственно создаваемых источников магнитных полей, что включает загрязнение окружающей действительности (в частности в силу решения технических проблем), но в ряде случаев способен служить для восстановления здоровья

Не исключено, что те и другие события могут крайне негативно сказываться на всей биосфере и, разумеется, на состоянии находящихся там людей и животных.

Тем не менее, надо учесть, что за последнее время люди научились использовать данные физические факторы, наоборот, для оздоровительных целей [2, 4].

Результаты данной работы позволяют описать электрические характеристики перестроек биопотенциалов мозга при действии ПМП. Остается нерешенным вопрос о роли различных структур мозга в происхождении описанных феноменов, что представляет цель дальнейших наших исследований.

Литература

1. Белик Д.К. Магнитобиосфера. - Новосибирск: Агенство "Сибиринт", 2016. - 106 с.
2. Григорьев Г.Ю. Алгоритмы радиобиологии: атомная радиация, космос, звук, радиочастоты, мобильная связь; Очерки научного пути. - М.: Экономика, 2015. - 263 с.
3. Лукьянова С.Н. Электромагнитное поле СВЧ диапазона нетепловой интенсивности как раздражитель для центральной нервной системы. - М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназян, 2015. - 200 с.
4. Лушнов А.М., Лушнов М.С. Медицинские информационные системы: многомерный анализ медицинских и экологических данных. - С. Петербург: "Геликон-Плюс", 2013.- 460 с.
5. Меркулова Л.М., Холодов Ю.А. Реакция возбудимых тканей организма на импульсные магнитные поля. - Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та, 1996. - 176 с.
6 Чиженкова Р.А. Исследование роли специфических и неспецифических образований в электрических реакциях мозга кролика, вызываемых электромагнитными полями УВЧ и СВЧ и постоянным магнитным полем: Автореф. дис. канд. мед. наук. - М., 1966. - 22 с.
7. Чиженкова Р.А. Структурно-функциональная организация сенсомоторной коры (морфологический, электрофизиологический и нейромедиаторный аспекты). - М.: Наука, 1986. - 241 с.
8. Чиженкова Р.А. Электрические следовые процессы в нейронных популяциях сенсомоторной коры: Автореф. дис. док. мед. наук. - М., 1991. - 30 с.
9. Чиженкова Р.А. Динамика нейрофизиологических исследований действия неионизирующей радиации во второй половине XX-ого века. - М.: Изд. дом Академии Естествознания, 2012. - 88 с.
10. Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций корковых нейронов при низкоинтенсивном ипульсном СВЧ-облучении: межспайковые интервалы // Радиац. биология. Радиоэкология. - 2014. - Т. 54. - № 4. - С. 393-404;
11. Чиженкова Р.А. Перестройки пачечной активности корковых нейронов при СВЧ облучении (0.2-0.3 мВт/см2): зависимость от ее исходных характеристик // Международный ж. прикладных. и фундаментальных исследований - 2016. - №7. - С. 59-62;
12. Чиженкова Р.А. Холинэстеразная активность структур мозга при СВЧ воздействии // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2017.- Т. 1. - № 19. - С. 129-133.

13. Чиженкова Р.А. Бутирилхолинэстеразная активность структур мозга при СВЧ воздействиии // Журнал проблем эволюции открытых систем. 2018.- Т. 1. - № 20. - С. 84-90.
14. Chizhenkova, R.A. Slow potentials and spike unit activity of the cerebral cortex of rabbits exposed to microwaves // Bioelectromagnetics. - 1988. - V. 9. - No. 4. - P. - 337 - 345.
15. Chizhenkova R.A. Pulse activity of populations of cortical neurons under microwave exposures of different intensity // Bioelectrochemistry. - 2004. - V. 63. - No. 1/2. - P. 343-346.
16. Chizhenkova R.A. Impulse trains generated by populations of cortical neurons of rabbits exposed to low-intensity extrahigh-frequency electromagnetic radiation: bursting activity // Neurophysiology. - 2008. - V. 40. - No. 5/6. - P. 350-357.
17. Chizhenkova R.A. Flows of populations of cortical neurons under microwave irradiation; burst activity // Biophysics. - 2010. - V. 55. - No. 6. - P. 1085-1093.
18. Chizhenkova R, A. Bibliometrical analysis of sampling fractions of the number of published works with application of magnetic fields, carried out of neurophysiological objects of different kinds // European journal of natural History. - 2018. - No. 4. - P. 49-52.
19. Chizhenkova R.A., Safroshkina A.A. Effect of low-intensity microwaves on the behaviour of cortical neurons // Bioelectrochemistry and Bioenergetics.- 1993. - V. 30. - No. 1.- P. 287-291.
20. Oloveira F., Diedrichsen J., Verstynen T., Dugue J., Ivry R. Transcranial magnetic stimulation of posterior parietal cortex affects decision of hand choice // PNAS. - 2010. - V. 107. - No. 41. - P. 17751 - 17756.

Принято в печать 16.01.2019

Р.А. Чиженкова
Институт биофизики клетки РАН, Россия, Московская область, г. Пущино

БИОПОТЕНЦИАЛЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. Рассмотрены результаты разносторонних исследований перестроек биопотенциалов головного мозга, возникающих под влиянием постоянного магнитного поля (ПМП). На кроликах установлено, что одноминутное воздействие ПМП интенсивностью 460 э вызывает изменение ЭЭГ в виде повышения его амплитуды и увеличения числа вспышек веретенообразной активности. Обнаружена роль способа включения и выключения электромагнита на развитие данных перестроек ЭЭГ. Включение электромагнита посредством реостата повышало вероятность и интенсивность перестроек ЭЭГ, что свидетельствует об участии э.д.с. индукции в развитии перестроек биопотенциалов непосредственно под влиянием ПМП. В связи с этим имела место сложная динамика развития электрической реакции на ПМП, включающая события во время и после воздействия. Надо признать, что перестройки биопотенциалов при действии ПМП затрагивали не только кору больших полушарий, но отражались и на состоянии других образований мозга. Тип этих изменений определялся исходными особенностями рисунка потенциалов. Можно предположить, что исследованная структура изменений биопотенциалов мозга под влиянием ПМП представляет функциональные перестройки в деятельности мозга, которые могут развиваться и при иных обстоятельствах. Действительно, близкие изменения биопотенциалов были получены у этих же животных под влиянием звукового раздражения (тон 200 Гц интенсивностью 0.012 дин/см^2).

Ключевые слова: постоянное магнитное поле, биопотенциалы мозга.

R.A, Chizhenkova
Institute of Cell Biophysics RAS. Russia, Pushchino;
Moscow region. Pushchino. 1422900 Distric "V", 22. Apt. 56

BIOPOTENTIALS OF THE CEREBRAL BRAIN ON INFLUENCE OF CONSTANT MAGNETIC FIELD

Abstract. Results of many-sided investigations of rearrangements of biopotentials of the cerebral brain occurring under constant magnetic field (CMF) were considered. In rabbits was established, that 1-min action of CMF of intensity 460 e produces rearrangements EEG as rise of its amplitude and increase of the number of spire bursts In was found a role of method of switching on and off of electromagnet upon development of these rearrangements of EEG. Switching on of electromagnet through reostat raised probability and intensity of rearrangements of EEG, that shows participation of induction in development of rearrangements of biopotentials direct under influence of CMF. In connection with that, complex dynamics of development of electrical reaction on CMF, including events during and after influence, occur. It is necessary to recognize, that rearrangements of biopotentials under action of CMF touch not only the neocortex, but affect on condition of different formations of the brain. Type of these changes depends by starting special of pattern of potentials. It can suppose, that investigated structure of changes of biopotebtials of the brain upon influence of CMF represents functional rearrangements in action of the brain, what can develop under another circumstances. Really, similar changes were found in these animals under influence of sound stimulation (tone 200 Hz, intensity 0.012 din/cm2).

Keywords: constant magnetic field, biopotetials of the brain.

Р.А. Чиженкова
РҒА Клетка биофизика институты, Ресей, Мәскеу облысы, Пущино қ.

ТҰРАҚТЫ МАГНИТ ӨРІСІНІҢ ӘСЕРІ КЕЗІНДЕГІ МИ БИОПОТЕНЦИАЛДАРЫ

Аннотация. Тұрақты магнит өрісінің (ТМӨ) әсерінен пайда болатын ми биопотенциалдарын қайта құруды жан-жақты зерттеу нәтижелері қарастырылды. Қояндарда 460 э қарқындылығы бар ТМӨ-ның бір минуттық әсері ЭЭГ-нің оның амплитудасының жоғарылауы және веретен тәріздес белсенділіктің жарқылдарының санының артуы түрінде өзгеруін туындатады. ЭЭГ қайта құру деректерін дамытуға электромагнитті қосу және сөндіру тәсілінің рөлі анықталды. Реостат арқылы электрмагнитті қосу ЭЭГ қайта құру ықтималдығы мен қарқындылығын жоғарылатты, бұл э.қ.к. индукцияның биопотенциалдарды қайта құруды тікелей ТМӨ ықпалымен дамытуға қатысуын куәландырады. Осыған байланысты әсер ету кезіндегі және одан кейінгі оқиғаларды қамтитын ТМӨ-да электр реакциясының күрделі даму динамикасы орын алды. ТМӨ әрекеті кезінде биопотенциалдарды қайта құру үлкен жарты шаршының қабығын ғана емес, мидың басқа да түзілімдерінің жай-күйін де қозғағанын мойындау керек. Бұл өзгерістердің түрі потенциал суретінің бастапқы ерекшеліктерімен анықталды. ТМӨ ықпалымен ми биопотенциалдарының өзгерістерінің зерттелген құрылымы басқа жағдайларда да дами алатын ми қызметіндегі функционалдық қайта құруларды білдіреді деп болжауға болады. Шынында да, биопотенциалдардың жақын өзгерістері сол жануарларда дыбыстық тітіркену әсерімен алынды (түс 200 Гц қарқындылығы 0.012 дин/см2).

Түйін сөздер: тұрақты магниттік өріс, ми биопотенциалы.

МРНТИ 37.15.33

С. Н. Мукашева, О. И. Соколова, А. Б. Андреев, В. И. Капытин, А. М. Малимбаев

Институт ионосферы, г. Алматы, 050020, Казахстан
e-mail: snmukasheva@gmail.com

УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ОБСЕРВАТОРИИ АЛМА-АТА [43.25°N; 76.95°E]

Аннотация. Изменчивость состояния геомагнитного поля в сейсмоактивных регионах является предметом пристального внимания геофизиков. Работы по данному направлению ведутся с целью выявления в геомагнитных данных возмущений космического и литосферного характера. В настоящей работе приведены результаты исследования особенностей поведения магнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня на основе данных обсерватории «Алма-Ата» [43.25°N; 76.95°E]. Установлены отличительные особенности ультранизкочастотных флуктуаций в магнитовозмущенный день (Kp=8) и в магнитоспокойный день (Kp=2). В возмущенный день амплитуда колебаний составляют 5-15 нТ с периодами от 2 до 5 мин, тогда как в магнитоспокойный день амплитуда колебаний наибольшие по Z-компоненте, они составляют 0.5±0.15 нТ с периодами менее 1 мин. Изучена динамика спектрального показателя β, вычисленного методом быстрого преобразования Фурье для полуночных значений геомагнитного поля в сейсмоактивный период. Выявлено, что динамика спектрального показателя β определяется геомагнитной обстановкой, то есть внешние факторы, такие как вспышечная активность Солнца, в первую очередь, влияют на характеристики ультранизкочастотных флуктуаций геомагнитного поля. Присутствие аномалий сейсмогенного характера не отмечается, возможно, из-за средней интенсивности землетрясений.

Ключевые слова: геомагнитное поле, геомагнитная буря, ультранизкочастотная флуктуация.

.

Введение

Земля является открытой неравновесной динамической системой [1]. Ее эволюция зависит от характера воздействия на нее внешних факторов. К таким факторам, прежде всего, относятся солнечная активность и солнечный ветер. Чтобы понять, как влияют такие факторы, изучаются различные параметры солнчно-земной физики. К одному из таких наиболее чувствительных параметров, относятся параметры магнитного поля Земли.

Изменчивость геомагнитного поля как открытой неравновесной системы, несомненно, представляют большой интерес для решения многих научных задач в области физики околоземного космического пространства и самой Земли. Так в настоящее время признается, что в сейсмоактивных регионах необходимы комплексные исследования динамических процессов в геофизических полях [2-5]. Современные теории предполагают, что земная кора в сейсмоактивных регионах ведет себя как самоорганизованная динамическая система, которая естественным образом эволюционирует в критическое стационарное состояние [6]. При этом процессы подготовки землетрясений могут быть связаны с изменением структур среды и с изменением их электромагнитных характеристик вблизи области эпицентра [7]. Аномальное поведение геомагнитных суточных вариаций может быть вызвано изменениями структуры проводимости и подземными течениями вдоль разломов до землетрясения [8]. Об электромагнитных эффектах, связанных с катастрофическими сейсмическими событиями, сообщается во многих работах, например [7, 9-12], в которых на основе наблюдений и спектрального анализа геомагнитных данных выявлены аномалии сейсмогенного характера до (и после) землетрясения. Успешное предсказание землетрясений требует воспроизводимых пресейсмических сигнатур, которые обеспечивают актуальную информацию в реальном времени и характеризуют специфику относительно интенсивности, местоположения и времени предсказанного землетрясения [13].

Целью настоящей работы является анализ ультранизкочастотных флуктуаций характеристик геомагнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня, а именно, близ города Алматы. С одной стороны, такие исследования вносят вклад в накопление эмпирических данных об эффектах в геомагнитном поле при активизации сейсмических явлений, поскольку мегаполис Алматы (Казахстан) [43.2˚N; 76.9˚E], расположен в сейсмически активном внутриконтинентальном горном поясе Северного Тянь-Шаня. Сейсмичность в этом регионе обусловлена продолжающимися столкновениями плит Индия и Евразия, что приводило к серии разрушительных землетрясений в (и до) 20-го века. Палеосейсмические исследования показывают, что регион имеет потенциал для возникновения катастрофических землетрясений магнитудой M>7.0 [14-15]. С другой стороны, результаты исследования влияния внешних и внутренних факторов на изменчивость геомагнитного поля как открытой неравновесной системы, несомненно, представляют большой интерес для решения многих научных задач в области физики околоземного космического пространства.

Эмпирические данные

Для выяснения особенностей поведения магнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня использовались измерения трёх компонент геомагнитного поля, полученные на обсерватории «Алма-Ата». Обсерватория «Алма-Ата» (geomag.ionos.kz), единственная в Средне-Азиатском регионе геомагнитная обсерватория, входящая в состав международной сети INTERMAGNET, международный код обсерватории – AAA; географические координаты [43.25°N; 76.95°E]; геомагнитные координаты [34.3°N, 152.7°E]. Регистрация в реальном времени секундных вариаций X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля проводиться на базе феррозондовых магнитометров Lemi-008 и Lemi-018M. Для анализа гелио-геофизической обстановки использовались планетарный Kp-индекс по данным Международного центра данных Киото, Япония, (http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp). Информация по сейсмическим событиям получена по данным Глобального сейсмологического каталога Национального центра информации о землетрясении (NEIC) Национальной службы США (http://earthquake.usgs.gov), расстояние от эпицентра до г. Алматы уточнено по данным Казахстанского Национального Центра данных (http://www.kndc.kz), ощутимость землетрясения в г. Алматы приведена согласно данным ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки МОН РК» (http://some.kz/index.php).

Спектральный анализ ультранизкочастотных флуктуаций параметров геомагнитного поля. Для исследования ультранизкочастотных флуктуаций (УНЧ) геомагнитного поля были сформированы для каждого дня 24 набора 1-часовых временных рядов, каждый из которых включает N = 3600 секундных значений X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля, и для них традиционным методом быстрого преобразования Фурье FFT (Fast Fourier Transform, FFT) рассчитаны значения the спектрального показателя β.

Примеры обработки данных ULF методом БПФ для местного полдня (12:00-13:00 LT) в магнитовозмущенный день (Kp=8) 8 сентября 2017 г. и в магнитоспокойный день (Kp=2) 4 октября 2017 г. приведены на рисунке 1. Вариации X-, Y-, Z-компонент геомагнитного поля показаны с удаленным трендом, прямая представляет собой наклон спектра β. Магнитовозмущенный день (Kp=8) выбран из периода очень большой магнитной бури, произошедшей 6-9 сентября 2017 г. По данным наблюдательной лаборатории «Солнечная динамика» NASA (https://sdo.gsfc.nasa.gov/) магнитная буря была вызвана серией вспышек на Солнце, в том числе вспышкой X9.3 – самой интенсивной вспышкой, зарегистрированной в течение текущего солнечного цикла.

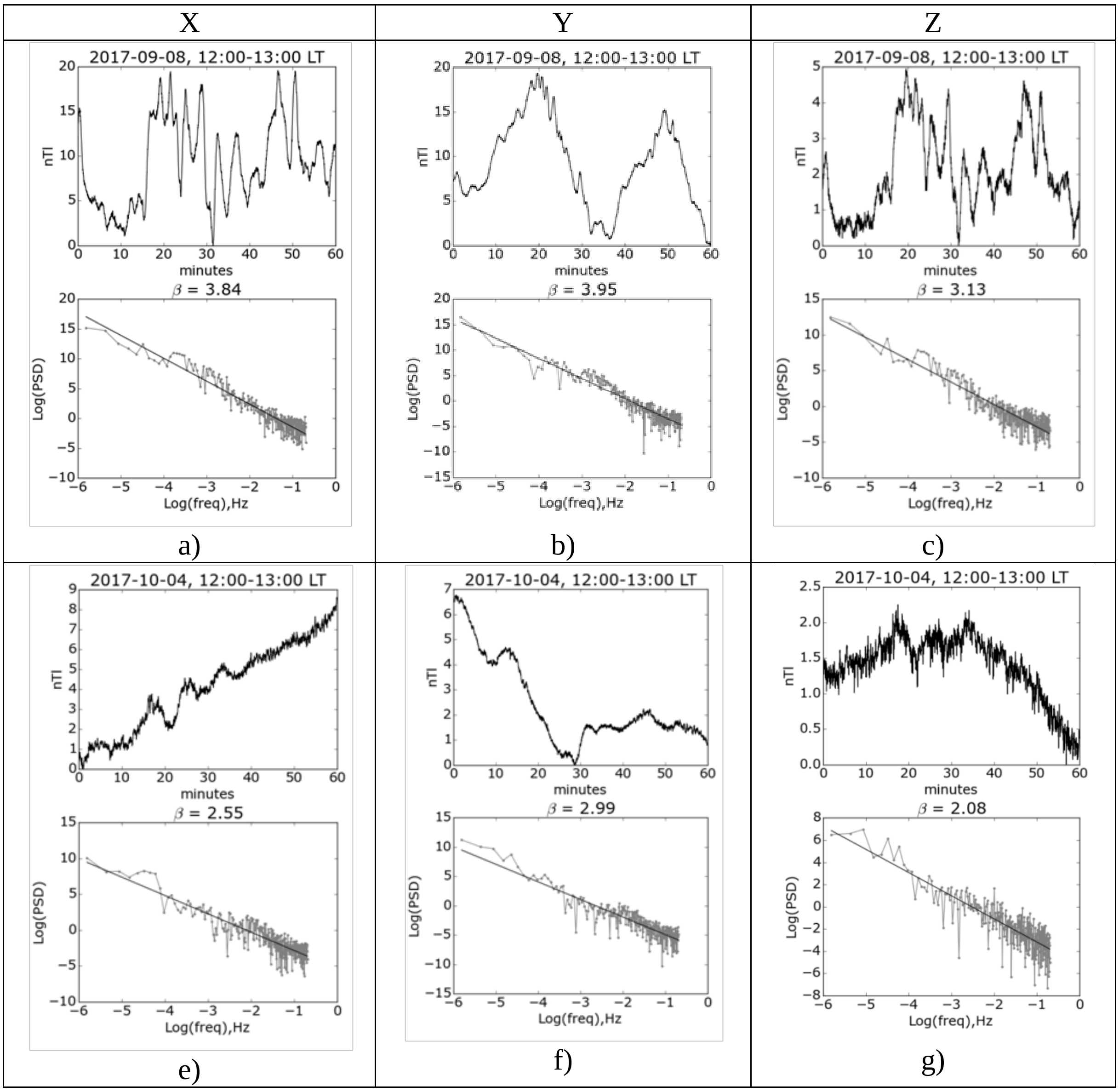
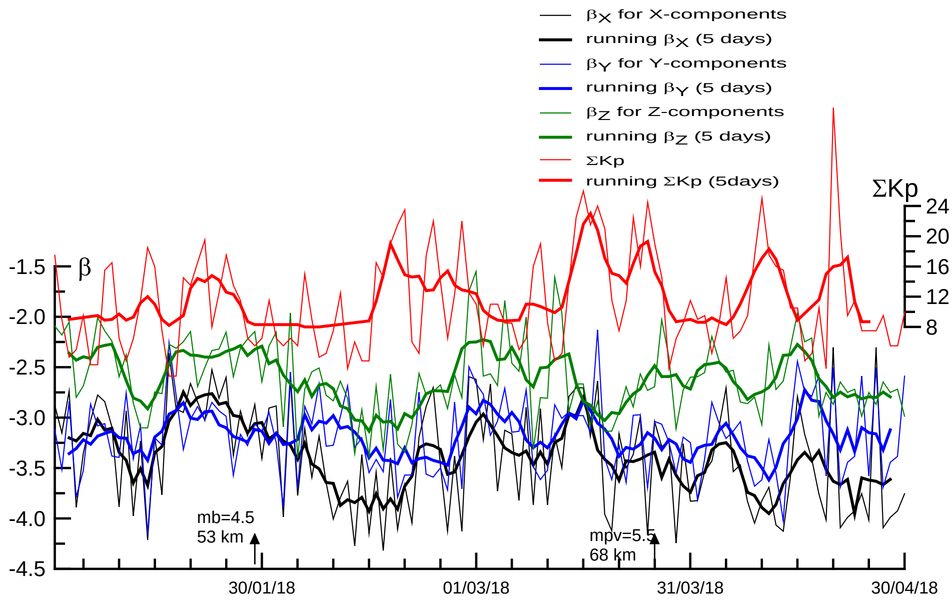


Рисунок 1 – Спектр мощности сигнала, рассчитанный по вариациям X-, Y-, Z-компонент по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» [43.25˚N; 76.92˚E] для временных интервалов 12-13 LT. Верхний ряд – в магнитовозмущенный день 8 сентября 2017 г. (Kp=8); нижний ряд – в магнитоспокойный день 4 октября 2017 г. (Kp=2).

Таблица 1 – Ощутимые в г. Алматы землетрясения, произошедшие на Северном Тянь-Шане в период с 1 января по 30 апреля 2018 г.

Time yyyy-mm-ddThh:mm:cc.ccc	Epicenter		Mag	Mag type	Distance from Almaty, km (sensibility)
	Coordinates	Depth km			
2018-01-29T14:36:35.560Z	[43.2015°N; 77.7514°E]	29.34	4.5	mb	55 (2)
2018-03-26T12:53:50.310Z	[43.8570°N; 77.3618°E]	23.97	4.6/5.5	mb/mpv	68 (3-4)



Тонкая линия указывает суточные значения β; толстая линия – скользящие средние с шагом 5 дней. Стрелкой указаны моменты землетрясений с магнитудой > 4.5, произошедшие на расстоянии не более 70 км

Рисунок 2 – Динамика спектрального показателя β, вычисленная методом БПФ для полуночного 00:00-01:00 LT сектора за период с 1 октября 2017 г. по 30 апреля 2018 г. по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» [43.25˚N; 76.92˚E]

В возмущенный день в рассматриваемом часовом интервале 12-13 LT амплитуда возмущений наибольшие по X-компоненте, они составляют ~5-15 нТ с периодами от 2 до 5 мин. Наклон спектра, β равен 3.84, 3.95 и 3.13, рассчитанный по X-, Y-, Z-компонентам, соответственно. В магнитоспокойный день в часовом интервале 12-13 LT амплитуда возмущений наибольшие по Z - компоненте, они составляют ~0.5 нТ с периодами менее 1 мин. Наклон спектра β равен 2.55, 2.99 и 2.08, рассчитанный по X-, Y-, Z-компонентам, соответственно.

УНЧ возмущения с амплитудами от десятых долей до десятков нТл и делятся на регулярные геомагнитные пульсации, Pc, и иррегулярные, импульсные, Pi. В зависимости от периодов геомагнитные пульсации классифицируются следующим образом: Pc1 (T = 0.2-5 c), Pi1 (T = 1-40 c); Pc2 (T = 5-10 c), Pi2 (T = 40-150 c); Pc3 (T = 10-45 c), Pi3 (T > 150 c); Pc4 (T = 45-150 c); Pc5 (T = 150 - 600 c); Pc6 (T > 600 c).

Вопрос о генерации регулярных пульсаций геомагнитного поля на сегодняшний день остается открытым. Волны в переходной области между солнечным ветром и магнитосферой могут служить мощным источником магнитных пульсаций [16]. Резонансное возбуждение Pc3-Pc5 пульсаций в магнитосфере Земли многократно обсуждалось в литературе. Некоторые авторы резонансными эффектами объясняют часто наблюдаемую гармоническую структуру спектров Pc3-Pc4 после магнитных бурь с внезапным началом (Sc) [17]. В ряде работ обсуждается вопрос о возможности непосредственного переноса Pc5 пульсаций из солнечного ветра в магнитосферу, при этом спектр пульсаций может отличаться от резонансных частот магнитосферы [18-20]. Pi пульсации характерны для ночных часов и для периодов геомагнитных возмущений. УНЧ возмущения могут возникнуть в литосфере из-за магнитогидродинамического эффекта, связанного с тектоническими процессами в очаге землетрясения из-за микроразрушения среды или образования трещин в фокальной зоне эпицентра [2, 9-12, 21].

В связи с тем, что большинство магнитных выбросов ULF имеют магнитосферное происхождение, самый простой способ проверить реальное присутствие сейсмогенных эффектов в вариациях параметров геомагнитного поля – изучить временную эволюцию их спектральных характеристик

[13]. Далее рассмотрим динамику спектрального показателя β, вычисленного методом БПФ для полуночного 00:00-01:00 LT за период с 1 января по 30 апреля 2018 г. Этот временной интервал выбран потому что он включает наиближайщие ощутимые землетрясения, произошедшие 29.01.2018 г. (mb = 4.5) и 26.03.2018 г. (mpv = 5.5) на расстоянии 55 км и 68 км от г. Алматы, соответственно, (Табл. 1). Изменения спектрального показателя β для X-компоненты (черная кривая), Y-компоненты (синяя кривая), Z-компонент (зеленая кривая) в рассматриваемый период показывают зависимость от геомагнитной обстановки, вариации ΣKp на рисунке 2 показаны красной кривой.

Спектральный показатель β, рассчитанный для всех трех компонент, изменяется в противофазе с ΣKp. Присутствие аномалий сейсмогенного характера не отмечается, возможно, из-за средней интенсивности выбранных землетрясений.

Заключение. В данной статье проведен спектральный анализ ультранизкочастотных флуктуаций параметров геомагнитного поля. Установлены отличительные особенности ультранизкочастотных флуктуаций в магнитовозмущенный день (Kp=8) и в магнитоспокойный день (Kp=2). В возмущенный день амплитуда колебаний составляют 5-15 нТ с периодами от 2 до 5 мин, тогда как в магнитоспокойный день амплитуда колебаний наибольшие по Z-компоненте, они составляют 0.5±0.15 нТ с периодами менее 1 мин.

Исследована динамика спектрального показателя β, вычисленная методом БПФ, в связи с несколькими землетрясениями в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня близ города Алматы [43.2˚N; 76.9˚E]. Детальное исследование динамики спектрального показателя β для полуночного 00:00-01:00 LT временного интервала за период с января по апрель 2018 г. показало зависимость геомагнитных параметров от Kp-индекса. Присутствие аномалий сейсмогенного характера не отмечается, возможно, из-за средней интенсивности выбранных землетрясений.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования научно-технической программы O.0799 Аэрокосмическим комитетом Министерства цифрового развития, оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан, проект № 0118РК00799.

Список литературы

1 Somsikov V.M. Problems of Evolution of Open Systems // PEOS. 2007. T. 9(2). C.5-16.

2 Guglielmi A.V., Zotov, O.D. Correlation between Pc1 electromagnetic activity and earthquakes // Izv. Phys. Earth. 2010. V. 46(6). P. 486-492.

3 Sobolev G.A. Seismicity dynamics and earthquake predictability // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. V. 11. P. 445-458, doi:10.5194/nhess-11-445-2011.

4 Pulinets S.A., Boyarchuk K.A. Ionospheric Precursors of Earthquakes // Springer Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-20839-9. 2004. 312p.

5 Molchanov O., Schekotov A., Fedorov E., Belyaev G. Gordeev E. Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2003. V., 3. P. 203–209. doi. org/10.5194/nhess-3-203-2003.

6 Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self - organized criticality // Phys. Rev. A. 1988. V. 38. P. 364-374. doi: 10.1103 /PhysRevA.38.364.

7 Smirnova N., Hayakawa M., Gotoh K. Volobuev D. Scaling characteristics of ULF geomagnetic fields at the Guam seismoactive area and their dynamics in relation to the earthquake // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2001. V. 1. P. 119–126, doi:10.5194/nhess-1-119-2001.

8 Sheshpari M. Seismo-Magnetic Precursors Seen from Space in Magnetosphere Anomaly for Prediction of Earthquakes, Electronic // Journal of Geotechnical Engineering. 2017. V. 22 (12). P. 4551-4557.

9 Dovbnya B. V. On the earthquake effects in the regime of Pc1 // J. Atmosph. Terrestr. Physics. 2007. V. 69, (14). P. 1765-1769.

10 Hayakawa M. On the fluctuation spectra of seismo-electromagnetic phenomena //

Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. V. 301 (11). P.301-308. doi:10.5194/nhess-11-301-2011.
11 Hattori K., Han P., Yoshino C., Febriani F., Yamaguchi H., Chen C.H. Investigation of ULF Seismo-Magnetic Phenomena in Kanto, Japan During 2000-2010: Case Studies and Statistical Studies // Surv Geophys. 2013. V. 34. P. 293-316, doi: 10.1007/s10712-012-9215-x.
12 Febriani F., Han P., Yoshino C., Hattori K., Nurdiyanto B., Effendi N., Maulana I., Gaffar E. Ultra low frequency (ULF) electromagnetic anomalies associated with large earthquakes in Java Island, Indonesia by using wavelet transform and detrended fluctuation analysis // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2014. V. 14. P. 789-798. doi:10.5194/nhess-14-789-2014.
13 Masci F.: On claimed ULF seismogenic fractal signatures in the geomagnetic field, J. Geophys. Res.-Space Phys. 2010. V. 115, A10236, doi:10.1029/2010JA015311,.
14 Burtmen V.S., Skobelev S.F., Molnar P. Late Cenozoic slip on the Talas-Ferghana fault, the Tien Shan, central Asia // Geological Society of America Bulletin. 1996. V. 108 (8). P. 1004-1021.
15 Timush A.V., Kurskeev A.K. The Problems of Seismic Safety in Kazakhstan, Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP). Proceeding of Workshop on Implementation of GSHAP in Central and Southern Asia, 17-21 October, 1994, Beijing China, 1994.–P.120-148.
16 Schott J.J., Kleimenova N.G., Kozyreva O.V. Amplitudes of Pc3 and Pc4 geomagnetic pulsations near the plasmapause projection (Kerguelen Observatory) // Geomagn. and Aeronom. 2004. V. 44(5). P. 567-573.
17 Kleimenova N.G., Kozyreva O.V. Global Pi3 geomagnetic pulsations as a response of large variations in the solar wind and IMF during the magnetic storm of August 5, 2011 // Geomagn. and Aeronom. 2014. V. 54(2). P. 195–202, doi: 10.1134/S001679321402011X, 2014.
18 Villante U., Di Giuseppe P., Francia, P. On the correspondence between interplanetary, magnetospheric and geomagnetic fluctuathions at selected frequencies// Memorie della Societa Astronomic Italiana. 2003. V. 74. P. 753-756.
19 Kessel R. L., Mann I.R., Fung S.F., Milling D.K., O'Connell N. Correlation of Pc5 wave power inside and outside the magnetosphere during high speed streams // Annales Geophysicae. 2004. V. 22(2). P. 629-641.
20 Kozyreva O.V., Kleimenova N.G., Vatermann J. Pc5 geomagnetic pulsations under a high dynamic pressure of the solar wind during the initial phase of the magnetic storm (April 16, 1999) // Geomagn. and Aeronom. 2005. V. 44(5). P. 577-586.
21 Prattes G., Schwingenschuh K., Eichelberger H.U., Magnes W., Boudjada M., Stachel M., Vellante M., Villante U., Wesztergom V., Nenovski P. Ultra Low Frequency (ULF) European multi station magnetic field analysis before and during the 2009 earthquake at L'Aquila regarding regional geotechnical information// Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. V. 11. P. 1959–1968. doi:10.5194/nhess-11-1959-2011.

Принято в печать 16.04..2019

С. Н. Мукашева, О. И. Соколова, А. Б. Андреев, В. И. Капытин, А. М. Малимбаев
Институт ионосферы, г. Алматы, 050020, Казахстан
e-mail: snmukasheva@gmail.com

УЛЬТРАНИЗКОЧАСТОТНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА ОБСЕРВАТОРИИ АЛМА-АТА [43.25°N; 76.95°E]

Аннотация. Изменчивость состояния геомагнитного поля в сейсмоактивных регионах является предметом пристального внимания геофизиков. Работы по данному направлению ведутся с целью выявления в геомагнитных данных возмущений космического и литосферного характера. В настоящей работе приведены результаты исследования особенностей поведения магнитного поля в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня на основе данных обсерватории «Алма-Ата» [43.25°N; 76.95°E]. Установлены отличительные особенности ультранизкочастотных флуктуаций в магнитовозмущенный день (Kp=8) и в магнитоспокойный день (Kp=2). В возмущенный день амплитуда колебаний составляют 5-15 нТ с периодами от 2 до 5 мин, тогда как в магнитоспокойный день амплитуда колебаний наибольшие по Z-компоненте, они составляют 0.5±0.15 нТ с периодами менее 1 мин. Изучена динамика спектрального показателя β, вычисленного методом быстрого преобразования Фурье для полуночных значений геомагнитного поля в сейсмоактивный период. Выявлено, что динамика спектрального показателя β определяется геомагнитной обстановкой, то есть внешние факторы, такие как вспышечная активность Солнца, в первую очередь, влияют на характеристики ультранизкочастотных флуктуаций геомагнитного поля. Присутствие аномалий сейсмогенного характера не отмечается, возможно, из-за средней интенсивности землетрясений.

Ключевые слова: геомагнитное поле, геомагнитная буря, ультранизкочастотная флуктуация

С. Н. Мукашева, О. И. Соколова, А. Б. Андреев, В. И. Капытин, А. М. Малимбаев
Ионосфера институты, Алматы қ., 050020, Қазақстан
e-mail: snmukasheva@gmail.com

АЛМАТЫ ОБСЕРВАТОРИЯСЫНДА ӨЛШЕУ БОЙЫНША ГЕОМАГНИТ ӨРІСІНІҢ УЛЬТРАКҮЛГІН ФЛУКТУАЦИЯСЫ [43.25°N; 76.95°E]

Аннотация. Сейсмобелсенді аймақтардағы геомагнитті өріс жағдайының өзгергіштігі геофизиктердің жіті назар аударуының мәні болып табылады. Осы бағыт бойынша жұмыстар геомагнитті деректерде ғарыштық және литосфералық сипаттағы ауытқуларды анықтау мақсатында жүргізілуде. Осы жұмыста "Алма-Ата" обсерваториясының деректері негізінде Солтүстік Тянь-Шань сейсмикалық белсенді аймағындағы магнит өрісінің мінез-құлқының ерекшеліктерін зерттеу нәтижелері келтірілген [43.25°N; 76.95°E]. Магнитті майланған күні (Kp=8) және магнитті тынығу күні (Kp=2) ультракүлгін флуктуациялардың ерекше ерекшеліктері орнатылған. 2-ден 5 минутқа дейінгі кезеңдерде тербеліс амплитудасы 5-15 нТ құрайды, ал магнитті тынығу күні тербеліс амплитудасы Z-компонент бойынша ең үлкен, олар 1 мин аз уақытпен 0.5±0.15 нТ құрайды. Сейсмикалық белсенді кезеңде геомагнит өрісінің жартылайғырлы мәндері үшін Фурье тез түрлендіру әдісімен есептелген β спектрлік көрсеткішінің динамикасы зерттелді. Күн, бірінші кезекте, геомагнитті өрістің ультра-жиілікті флуктуацияларының сипаттамаларына әсер етеді. Спектрлік көрсеткішінің серпіні геомагнитті жағдаймен анықталады, яғни күннің жарқыл белсенділігі сияқты сыртқы факторлар, бірінші кезекте, геомагнитті өрістің ультракүлгін флуктуацияларының сипаттамаларына әсер етеді. Сейсмикалық сипаттағы аномалиялардың болуы жер сілкіністерінің орташа қарқындылығына байланысты байқалмайды.

Түйінді сөздер: геомагнит өрісі, геомагниттік дауыл, ультра төмен жиіліктегі флуктуациясы

S. N. Mukasheva, O. I. Sokolova, A. B. Andreev, V. I. Kapytin, A. M. Malimbayev
Institute of Ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan
e-mail: snmukasheva@gmail.com

ULTRA-LOW-FREQUENCY FLUCTUATIONS OF GEOMAGNETIC FIELD AS MEASURED AT THE OBSERVATORY ALMA-ATA [43.25°N; 76.95°E]

Abstract. The variability of the geomagnetic field in seismic regions is the subject of close attention of geophysicists. Work in this direction is carried out in order to identify geomagnetic data perturbations of space and lithospheric nature. This paper presents the results of a study of the behavior of the magnetic field in the seismic region of the Northern Tien Shan on the basis of data from the Observatory "Alma-Ata" [43.25°N; 76.95°E]. The distinctive features of ultra-low-frequency fluctuations in the magnetically disturbed day (Kp=8) and in the magnetically calm day (Kp=2) were established. On the perturbed day, the oscillation amplitude is 5-15 NT with periods from 2 to 5 minutes, whereas on the magnetically calm day the oscillation amplitude is the largest in the Z-component, they are 0.5±0.15 NT with periods less than 1 min. The dynamics of the spectral index β calculated by the method of fast Fourier transform for the midnight values of the geomagnetic field in the seismic period is studied. It was found that the dynamics of the spectral index β is determined by the geomagnetic environment, that is, external factors such as solar flare activity, primarily affect the characteristics of ultra-low-frequency fluctuations of the geomagnetic field. The presence of seismogenic anomalies is not observed, possibly due to the average intensity of earthquakes.

Keywords: geomagnetic field, geomagnetic storm, ultra-low-frequency fluctuation

МРНТИ 89.57; 37.31

А.В. Виляев, А.П. Стихарный
Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан
e-mail: vilayev@gmail.com

О ВОЗМОЖНОСТИ НАРУШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ЗЕМЛИ ТЕХНОГЕННЫМ ФАКТОРОМ

Аннотация. Рассматривается гипотеза о возможности нарушения динамического равновесия Земли вследствие климатических изменений последних 150 лет и техногенного воздействия на примере катастрофической аварии нефтяной платформы компании BritishPetroleum в Мексиканском заливе 20 апреля 2010 г. Гипотеза соответствует постулату о неизбежности изменения механизмов взаимодействия различных физических полей вследствие случайных микровоздействий. На основе спутниковых данных показано, что в результате аварии произошло изменение траектории движения течения Гольфстрим, которое привело к изменению температурного режима, солености и плотности, значительных по объему океанических масс. Изменение плотности океанических массв локальных областях могло вызвать смещение центра масс Земли на 10^{-4}м и отклонение оси ее вращения на $3.4 \cdot 10^{-6}$ас. Показано, что процесс нарушения динамического равновесия Земли может сопровождаться возрастанием количества относительно слабых землетрясений (в диапазоне магнитуд 4.2-4.8 на 41.5%) и интенсивности сейсмического шума (тремора) по данным сетей широкополосных сейсмостанций и спутниковой GPS навигации. При этом суммарная величина выделяющейся сейсмической энергии остается практически неизменной. Авторы проводят обоснование сформулированной гипотезы с использованием эмпирических данных, математической модели и расчетов.

Ключевые слова: гипотеза, динамическое равновесие Земли, течение Гольфстрим, техногенный фактор, сейсмичность.

Введение

Возникновение деформационных процессов, обусловленных возмущениями напряженно-деформированного состояния земной коры, может быть интерпретировано с позиций гипотезы нарушения динамического равновесия вращающейся Земли. Гипотеза соответствует постулату о неизбежности структурных изменений различных физических полейвследствие случайных микровоздействий. Триггером таких слабых флуктуаций могут стать как вариации планетарных факторов, в частности, изменения климата, параметров вращения Земли, земные и океанические приливы, закономерная смена лунных фаз и др., так и техногенные факторы в виде мощных взрывов, антропогенных изменений климата или, как показано в настоящей статье, перераспределение океанических течений, обусловленных техногенными воздействиями.

Индикатором нарушения динамического равновесия может быть изменение числа слабых землетрясений в литосфере Земли. Активизация сейсмических процессов слабыми возмущениями напряженно-деформированного состояния земной коры рассматривалась в [1-4]. В указанных работах показано, что слабые возмущения способны инициировать деформационные волны в литосфере Земли, генерируя сейсмические колебания с высвобождением сейсмической энергии.

Цель настоящей работы заключается в проверке рабочей гипотезы о возможности нарушения динамического равновесия Земли антропогенным фактором. Метод проверки гипотезы включает анализ фактических данных наблюдений геофизических полей, построение математической модели и выполнение расчетов на ее основе.

Антропогенный фактор воздействия на динамику Земли

В качестве примера катастрофического техногенного воздействия на динамику Земли рассматривалась авария в Мексиканском заливе в 80 км от побережья на месторождении Макондо компании

BritishPetroleum в результате взрыва нефтяной платформы Deepwater Horizont 20 апреля 2010 г.

Через повреждения скважины на глубине 1500 м в течение 152 суток происходила неконтролируемая утечка нефти, общее количество которой составило 682 тыс. т (5 миллионов баррелей). Нефтяное пятно распространилось на площади 75 тыс. кв. км [5]. В Мексиканском заливе на глубинах до 1300 м были обнаружены пятна нефти протяженностьюдо 16 км и толщиной до 90 м. Для уменьшения последствий экологической катастрофы около 19 млн. л диспергаторов было добавлено к болеемиллиарду литров сырой нефти.

По спутниковым данным было установлено, что разлив нефти в Мексиканском заливе и массовое применение диспергентов повлияли на скорость и направление океанического течения Гольфстрим (Рис.1).

Рисунок 1 – Схема океанических течений Атлантического океана [7]

Гольфстрим - интенсивное, теплое океаническоетечение в западной части Атлантического океана у восточного побережья Северной Америки. Оно расщепляется на две части - Северный поток или Североатлантический дрейф, который пересекает Атлантический океан в направлении к Северной Европе, и Южный поток или Канарское течение, рециркулирующееот берегов Западной Африки [6]. Размеры течения составляют 100 кмпо ширине и от 800 до 1200 м по глубине. Скорость потока наиболее интенсивна у поверхности и в среднем составляет около 6.4 км/ч при максимальной величине до 9 км/ч. Гольфстрим транспортирует от 20 до 40 Sv воды в секунду (1 Sv эквивалентен 10^6 м^3), что превышает единовременный сток всех рек в мире.

У восточных берегов Северной Америки теплый Гольфстрим сталкивается с холодным Лабрадорским течением, протекающим с севера на юг вдоль западной окраиныЛабрадорского моря. Лабрадорское течение - холодное с температурой воды менее 0°С и имеет низкую соленость - от 30 до 34 $^{o}/_{oo}$. Течение Лабрадора ограничено континентальным шельфом и распространяется на глубинахдо 600 м. Объем его водного транспорта составляет 3.5- 5.4 Sv/с [8].

Система океанических течений Гольфстрим-Лабрадор в Северной Атлантике играет существенную роль в формировании климата Земли, перераспределяя тепло и воздействуя на углеродный цикл. В работах [9,10] показано, что конвекция в течениях Лабрадора и Гольфстрима ослабевает. По спутниковым данным такое ослабление проявляется в характерныхизменениях температуры приповерхностной воды в субполярных районах Атлантического океана и в пределах течения Гольфстрим. С 2006 г. замедление течения Гольфстрим вызывалось естественными причинами опреснения Лабрадорского течения. Крупномасштабная авария нефтяной платформы «Британиш петролиум» 20 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе вызвала ускорение процесса замедления течения Гольфстрим.

Первое сообщение об «остановке» Гольфстрима приводится в работе [11], в которой показано, что средняя температура воды в северной части течения Гольфстрим понизилась на 10 °С, по сравнению с «докатастрофным» 2009 г. При этом течениеГольфстрим переместилось на 800 миль (1481 км) к востоку. Спутниковые снимки Гольфстрима между 76 и 47 меридианами показали, что понижение температуры воды составило 10 °С, по сравнению с температурами для того же периода прошлого года. Эти данные позволяют предполагать прямую причинно-следственную связь между остановкой теплого Кольцевого течения в Мексиканском заливе и падением температуры воды в течении Гольфстрим. Исследования ProtonicsChemicalCorporation и кафедры прикладных воздушно-космических наук университета Колорадо (США) также подтверждают, что течение Гольфстрим изменилосвою траекторию. [12]

С использованием таких эмпирических данных в настоящей работе предложена рабочая гипотеза о том, что изменение траектории движения течения Гольфстрим сопровождалось изменением температурного режима, солености и плотности, значительных по объему океанических масс (рисунок 2).

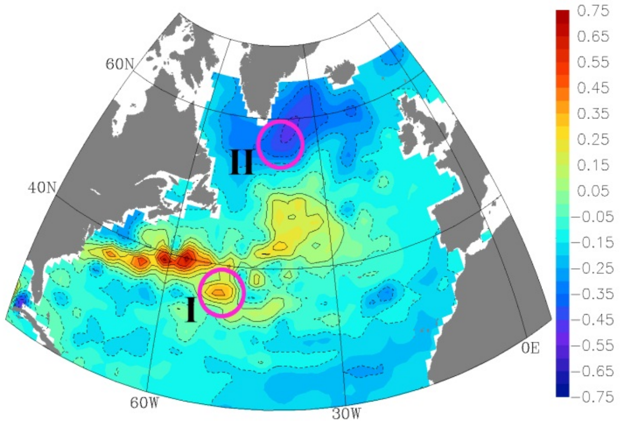


Рисунок 2 – Карта скорости течений субполярного круговорота [13].
I и II моделируемые области изменения температурного режима

При этом предполагается, что процесс происходил сравнительно медленно, и формирование «посткатастрофического» изменения температурного режима происходило в течении времени порядка двух лет, начиная с 2011 г. Такое перераспределение температуры водных масс могло сопровождаться нарушением равновесного состояния динамической системы вращающейся Земли, изменениями положения центра Земли и полюсов и могло сопровождаться возрастанием количества слабых землетрясений. Покажем это.

Постановка задачи и решение

Движение центра Земли представляет собой простейший механический аттрактор, определяющий совокупность внутренних и внешних условий конечного состояния развития системы. Рассмотрим изменение устойчивого положения центра Земли в случае нарушения однородности распределения масс отдельных областей на ее поверхности. Примем упрощённую модель изменяемой части течений в виде двух равных по размеру дисков радиусом 500 км (R_G), мощностью 1 км (H_G) и с аномальной плотностью воды ρ_G с центром в точке с координатами N35° W50° (область I – увеличение температуры),и в точкес координатами центра N57° W40°(область II – уменьшение температуры) (Рис.2).

Центр масс Земли (центр инерциисистемы материальных точек) определяется как геометрическая точка, характеризующая движение системы всех частиц целого тела.В классической механике уравнение геометрического положения центра, как системы материальных точек для случая непрерывного распределения масс, записывается как[14]:

$$\overline{r_c} = \frac{1}{M}\int_V \rho\left(\overline{r}\right)\overline{r}dV \qquad (1)$$

где r_c – радиус-вектор центра масс, M – суммарная масса системы, V- объём, ρ – плотность.

Обозначим состояние системы «до» нарушения режима движения индексом 1 и «после» - индексом 2. Вычисления проведем в прямоугольной и сферической системах координат с центром, соответствующим центру масс Земли. Распишем формулу (1) по координатам центра масс;

$$x_1 = \frac{1}{M}\int_V \rho\left(\overline{r}\right)xdV \qquad (2)$$

$$y_1 = \frac{1}{M}\int_V \rho\left(\overline{r}\right)ydV \qquad (3)$$

$$z_1 = \frac{1}{M}\int_V \rho\left(\overline{r}\right)zdV \qquad (4)$$

Определим объемы перераспределения неоднородных областей как «до» -V_1и «после» -V_2, при этом$|V_2|$ = $|V_1|$. Соответственно, объем неизмененной части будет равен$V_o = V-(V_1+V_2)$.

Обозначим плотности «до» - ρ_1и «после» - ρ_2. Тогда формула (2) запишется в виде:

$$x_{до} = \frac{1}{M}\int_{V_1}\rho(\bar{r})xdV + \frac{1}{M}\int_{V_2}\rho(\bar{r})xdV + \frac{1}{M}\int_{V_0}\rho(\bar{r})xdV = \frac{1}{M}\rho_1 X_1 V_1 + \frac{1}{M}\rho_2 X_2 V_2 + \frac{1}{M}\int_{V_0}\rho(\bar{r})xdV \quad (5)$$

где X_1 и X_2 – координата центра точек I и II.

Аналогично:

$$x_{после} = \frac{1}{M}\rho_2 X_1 V_1 + \frac{1}{M}\rho_1 X_2 V_2 + \frac{1}{M}\int_{V_0}\rho(\bar{r})xdV \quad (6)$$

Вычитая (5) из (6) получаем:

$$dX = x_{после} - x_{до} = \frac{1}{M}(\rho_2 - \rho_1) X_1 V_1 + \frac{1}{M}(\rho_1 - \rho_2) X_2 V_2$$

или $$dX = \frac{1}{M}(\rho_2 - \rho_1)(X_1 - X_2)|V| \quad (7)$$

Аналогично,вычитая (3) из (4), получаем:

$$dY = \frac{1}{M}(\rho_2 - \rho_1)(Y_1 - Y_2)|V| \quad (8)$$

$$dZ = \frac{1}{M}(\rho_2 - \rho_1)(Z_1 - Z_2)|V| \quad (9)$$

где *dX, dY, dZ* – отклонения геометрического положения центра масс Земли от его первоначально устойчивого состояния.

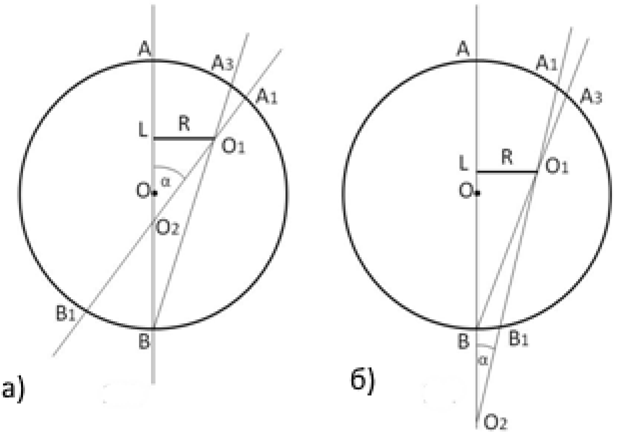
Далее рассмотрим возможное изменение положения полюсов оси вращения Земли вследствие смещения центра масс. Для математической однозначности задачи введем условие: *новая ось вращения минимизирует суммарный сдвиг полюсов*. При этом новая ось вращения расположена в плоскости, проходящей через прежние полюса и новый центр масс (рисунок 3), где

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{dX^2 + dY^2} \\ dX &= |X_1 - X_2| \\ dY &= |Y_1 - Y_2| \\ dZ &= L = R_{земли}(\sin(X_1) - \sin(X_2)) \end{aligned} \quad (10)$$

Изменение угла α накладывается на нутацию колебаний земной оси в процессе прецессионного движения. Нутация изменяет лишь ориентировку оси вращения Земли в пространстве и не влияет на положение этой оси в теле Земли.

Рассмотрим возможные варианты: Рисунок 3а - точка O_2 лежит внутри Земли или на её поверхности. При этом угол α определяется полусуммой дуг AA_1 и BB_1и таким образом определяет суммарный сдвиг полюсов. Минимум суммарного сдвига полюсов достигается при совпадении B_1 и B:

$$2\alpha = \arctan\left(\frac{r}{R+L}\right) \quad (11)$$



О – центр масс «до», O_1 –центр масс «после», АВ – ось вращения «до», A_1B_1 –ось вращения «после», O_2 – точка пересечения осей вращения, α – угол между ними, а) – O_2 внутри Земли; б) – O_2 вне Земли)

Рисунок 3 – К расчету возможного изменения положения полюсов оси вращения Земли

Рисунок 3б - точка O_2 лежит вне Земли. В этом случае угол α определяется полуразностью дуг AA_1 и BB_1. Так как O_1находится выше О, то дуга BB_1 больше дуги A_1A_3, и минимум суммарного сдвига полюсов также достигается при совпадении B_1 и B (формула 11).

Таким образом, уравнения (7-11) определяют конечное состояние процесса динамического развития аттрактора – центра масс Земли.

Исходные данные

Рассмотрим морскую воду как двухкомпонентную систему вода (растворитель)+ морская соль (растворенное вещество), в которой основные свойства ее состояния характеризуются внутренними параметрами - температурой, соленостью и давлением. Температура, соленость и давление определяют величину плотности морской воды. Характерные для поверхности моря (океана) значения плотности, зависящие от температуры, находятся в диапазоне от 0,9960 до 1,0283 кг/м^3 [15].

В расчетах плотности морской воды с учетом ее температуры и солености в настоящей работе использовались эмпирические зависимости (Рис. 4).

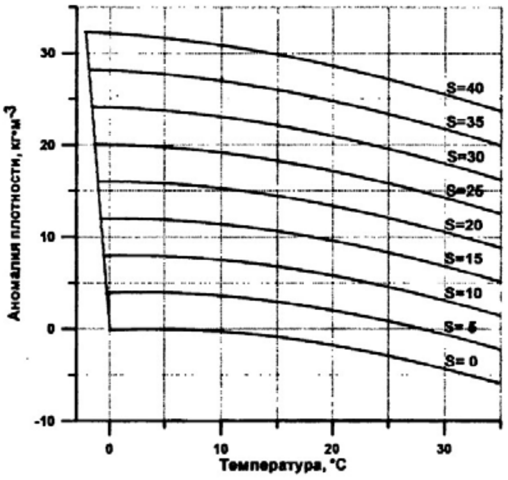


Рисунок 4 – Плотность морской воды в зависимости от температуры и солености при атмосферном давлении [16].

По спутниковым данным [17] в рассматриваемых областях Атлантического океана, за указанный промежуток времени (2009 - 2012 гг.), соленость изменялась в незначительных пределах, как на глубине 459 м (не более ±0.01 $^o/_{oo}$), так и на глубине 747 м (не более ±0.005 $^o/_{oo}$), и может быть принята за постоянную величину 35.52 $^o/_{oo}$ (Рис. 5).

В тоже время за счет изменения направления движений океанических течений Гольфстрим и Лабрадор произошло перераспределение температуры морской воды в рассматриваемых областях до глубины 1 км (Рис. 6).

В среднем изменение разности температуры океанических масс между моделируемыми областями в интервалах времени 2009 - 2010 гг. и 2011 - 2012 гг. характеризуются значениями не более 1^{o}C. Такойперепад температуры морской воды, в соответствии с эмпирической зависимостью (Рис.4),и при постоянной солености может сопровождаться относительным изменением плотности на 0,25 кг/м^3 (ρ_G).

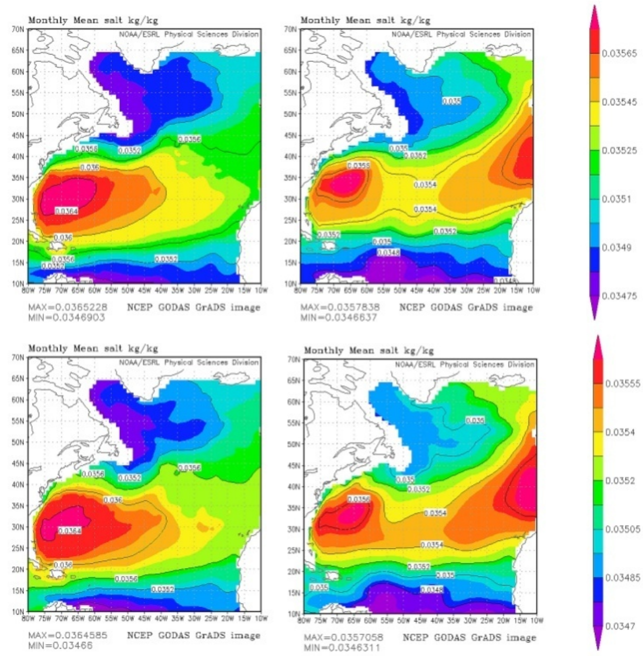


Рисунок 5 – Карты среднемесячных значений солености морской воды на глубинах 459 м и 757 м (слева направо) за 2009-2010 гг. (вверху) и за 2011-2012 гг. (внизу)[17]

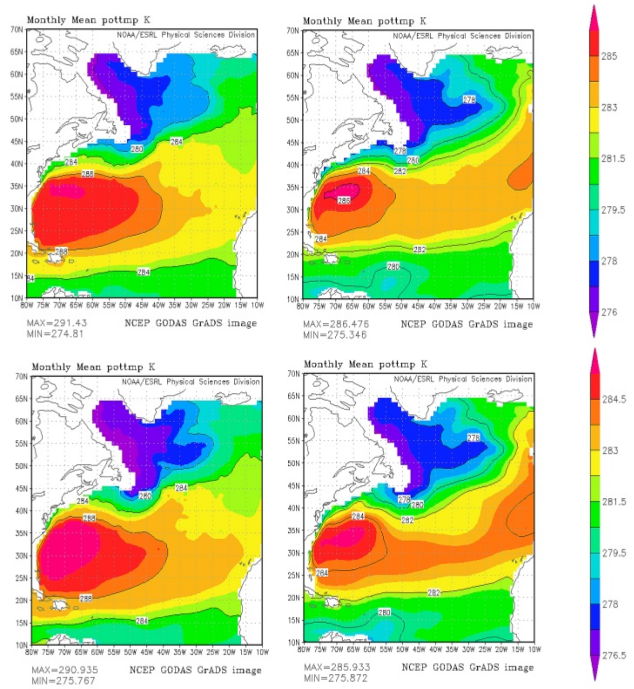


Рисунок 6 – Карты среднемесячных значений температуры морской воды на глубинах 459 м и 757 м (слева направо) за 2009 – 2010 гг. (вверху) и за 2011 – 2012 гг. (внизу) [17].

Исходные данные, используемые в расчетах,представлены в таблице 1

Таблица 1. Исходные данные

Параметр	Значение	вСИ
Масса Земли (кг)		5.972E+24
Радиус Земли (м)		6378000
сдвигточекI-II по широте (X_1-X_2)	22(град.)	2444948 м
сдвиг точек I-II по долготе (Y_1-Y_2)	10 (град)	785836 м
сдвиг точек I-II по оси вращения (Z_1-Z_2)	$R_{Земли}$ (sin(X_1)-sin(X_2))	786132 м
Объем изменяемой части течения ($м^3$)	$\pi R_G^2 H_G$	7.854E+14
Изменение p_G($кг/м^3$)		0.25

В рамках высказанной гипотезы и принятых предположений, на основании исходных данных (Табл. 1) и решений аналитических выражений (7-11), было получено, что вследствие нарушения динамического равновесия Земли, инициированного перераспределением температуры и плотности океанических масс в системе теченийГольфстрим-Лабрадор, перемещение центра масс Земли может составить 10^{-4} м, а отклонение оси вращения Земли на Северном полюсе по меридиану 10^o может достигать $3.4 \cdot 10^{-6}$ ас, что соответствует 0.002% от амплитуды максимальной нутации полюса.

Обсуждение результатов

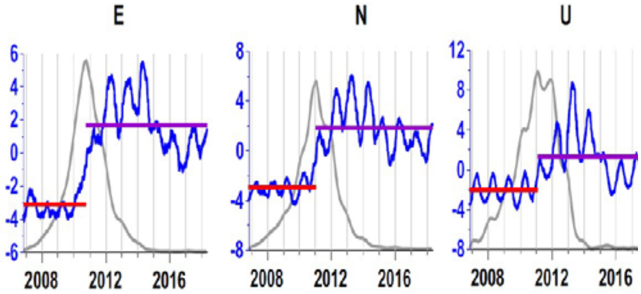
Полученные результаты подтверждают гипотезу о возможном нарушении динамического равновесия вращающейся Земли за счет ослабления конвекции течения Гольфстрим и последующего перераспределения масс в системеСевероатлантических течений. Процесс продолжался со слабой интенсивностью в течение последних 150 лет [9, 10] и был активизирован 20 апреля 2010 г. после техногенной катастрофы в Мексиканском заливе. Такая активизация в настоящее время ослабевает, и прежний «докатастрофический» режим океанических течений постепенно восстанавливается.

Для подтверждения состоятельности выдвинутойгипотезырассмотрим дополнительные факты. Как указывалось выше, одним из индикаторов изменения динамического равновесия может служить возникновение деформационных волн в литосфере Земли с накоплением или релаксацией глобальных тектонических напряжений и увеличением сейсмической активности [1-4]. Причем, флуктуации тектонических напряжений планетарного масштаба не всегда могут быть измерены непосредственно in situ. Их изучение возможно лишь GPS методами спутниковой геодезии в сочетании с регистрацией на сети сейсмических станций.

Впервые результаты анализа изменений глобального сейсмического шума были опубликованы в [18]. Анализ был основанна данных 229 широкополосных станций сетей GSN, GEOSCOPE и GEOFON за 16-летний период с начала 1997 по конец 2012 гг. Изучалось когерентное поведение четырех параметров, характеризующих глобальное поле низкочастотного сейсмического шума на периодах от 2 до 500 мин. Рассматриваемые параметры включали логарифмическую дисперсию, эксцесс, ширину спектра сингулярности и минимальную энтропию вейвлет-коэффициентов непрерывных сейсмических сигналов. На основании проведенного анализа в работе [18] сделан вывод, что наблюдается усиление синхронизации между параметрами глобального сейсмического шума во всем интервале наблюдений с начала 1997 г. «Эта синхронизация продолжает расти до конца исследуемого периода (2012 г.), что можно интерпретировать как вероятный предвестник дальнейшего увеличения интенсивности сильнейших землетрясений во всем мире».

Усиление глобального сейсмического шума к концу 2012 г.можно сопоставить с процессом медленногоослаблениятечения Гольфстрим в последние 150 лет.

Подтверждением скачкообразного ускорения данного процесса после техногенной катастрофы могут служить результаты исследований [19, 20].В них рассмотрены статистические параметры вариаций смещений GPS станций, отражающие поверхностные флуктуации напряженно-деформированного состояния земной коры (Рис.7).



горизонтальные линии красного и пурпурного цвета - средние значения; серые линии –изменение коэффициента Фишера [19]

Рисунок 7 – Графики первых главных компонент средних корреляций смещений временных рядов GPS (синие линии).

Совместная обработка данных глобальной сети ежесуточных непрерывных наблюдений GPS позволила авторам исследования [19]выделить скрытый эффект синхронизации низкочастотного собственного шума Земли, который проявлялся приблизительно с 23 октября 2010 по 17 февраля 2011 гг.

Было обнаружено значительное увеличение среднего уровня когерентности (корреляции)суточных величин шума, зарегистрированногона 1097 GPS станциях в девяти регионах Земли (Восточная, Западная и Центральная Северная Америка, Южная Америка, Европа, Япония, Аляска, Австралия, Новая Зеландия). Отмечалось, что в некоторых из указанных районов средний уровень согласованности остается достаточно высоким и не возвращается к предыдущему уровню (Рис. 7). Авторы публикаций [19, 20] считают, что возрастание сейсмического шума могло быть триггером катастрофического землетрясения 11 марта 2011 г., М=9.1 в Японии (Тохоку).

Кроме того, при изучении вариаций сейсмичности в рамках нарушения динамического равновесия Земли нами рассмотрены не только сильные землетрясения, но и статистические особенности проявленияотносительно слабых землетрясений. Использовалсямировой каталог землетрясений [21], из которого производились выборки сейсмических событий различных магнитудных диапазонов для всей Земли в двух одинаковых по продолжительности временных интервалах 2009 – 2010 и 2011 – 2012 гг. Результаты распределения землетрясений и выделившейся сейсмической энергии Е (в Дж) в двух временных интервалах представлены в таблице 2 и на рисунке 8.

Таблица 2. Сравнительная выборка числа землетрясений и log10 выделившейся сейсмической энергии в интервале времени 2009 - 2012 гг.

Магнитуды	2009.01.01 - 2010.12.31		2011.01.01 - 2012.12.31	
	кол-во	Энергия (log10)	кол-во	Энергия (log10)
6.9-9.0	51	18,168	43	17,960
6.2-6.8	151	16,686	152	16,684
5.6-6.1	649	16,362	733	16,418
4.9-5.5	4902	16,212	5069	16,203
4.2-4.8	13146	15,743	18614	15,903
3.6-4.1	3744	14,373	4768	14,478

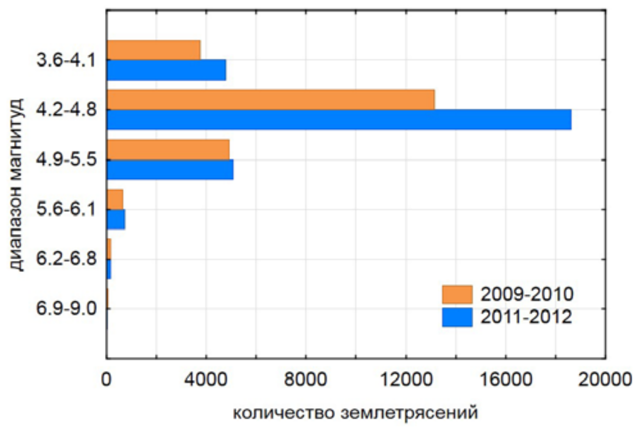


Рисунок 8 – Гистограмма распределения числа землетрясений в интервале времени 2009 – 2012 гг.

В диапазонах магнитуд М≤6.8 в течение «посткатастофического» интервала времени наблюдается увеличение числа землетрясений, особенно для относительно слабыхсобытий с М=4.2-4.8: от 13146 до 18614, т. е. на 41.6%. Выборки включали все произошедшие землетрясениясовместно с их афтершокамидля наиболее полного отражения процесса релаксации глобальных тектонических напряжений.

Отметим, что нарушение закона повторяемости землетрясений (Гутенберга – Рихтера) для значений магнитуд M=3.6-4.1 в приведенной таблице 2 и на гистограмме (Рис. 8) обусловлено разряженностью сейсмической сети станций регистраций землетрясений по земному шару. Тем не менее, и в данном диапазоне магнитуд наблюдается превышение количества землетрясений в «посткатастрофический» период (2011-2012 гг.)

Вместе с тем, по количеству выделившейся сейсмической энергии значительной дифференциациив рассматриваемых временных интервалах не наблюдается. Т. е. можно полагать, что нарушение динамического равновесия Земли сопровождалось лишь увеличением сейсмического шума (тремора) при сохранениисреднего уровня освобождаемой сейсмической энергии.

Заключение

На упрощенной математической модели показано, что замедление океанического течения Гольфстрим и перераспределение температуры и плотности океанических масс в локальных областях в результате климатических изменений за последние 150 лет, а также вследствие техногенной катастрофы,может сопровождаться нарушением динамического равновесия планеты Земля.

В соответствии с выполненными расчетами, возможно смещение центра масс Земли на 10^{-4} м и отклонение оси ее вращения на $3.4{\cdot}10^{-6}$ ас в последующие два года после техногенной катастрофы в Мексиканском заливе. Это могло вызвать наблюдаемое увеличение числа слабых землетрясений в диапазоне магнитуд 4.2 - 4.8 на 41.5% и возрастание интенсивности сейсмического шума (тремора) по данным регистрации на сети широкополосных сейсмостанций и сети GPS навигации. При этом общее количество выделившейся сейсмической энергии оставалось практически неизменным. Это указывает на достаточную устойчивость динамического равновесия системы Земля в масштабах времени годы – десятилетия – первые столетия. Отметим, чтодля рассматриваемой системы характерны небольшие флуктуации, и она не всегда полностью возвращается в исходное состояние, а лишь максимально близко приближается к нему.

Таким образом, с учетом приведенных эмпирических данных и расчетов в рамках рассмотренной математической модели, выдвинутая гипотеза о возможности нарушения динамического равновесия Земли техногенным фактором имеет право на существование в качестве научного предположения.

Список литературы

1 Кочарян Г.Г., Костюченко В.Н., Павлов Л.В. Инициирование деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями // Физическая мезомеханика. - 2004. -т. 7. - № 1. - С. 5-22;

2 Кочарян Г.Г., Федоров А.Е. Об особенностях механики сейсмического процесса в блочной геофизической среде // Доклады АН СССР. - 1990. - т. 315. - № 6. - С. 1345-1349;

3 Адушкин В.В., Спивак А.А. Приповерхностная геофизика: комплексные исследования литосферно-атмосферных взаимодействий в окружающей среде //Физика Земли. - 2012. - №3. - С.3-21;

4 Шерман С.И. Деформационные волны как триггерный механизм активизации разломов в сейсмических зонах континентальной литосферы. //Триггерные эффекты в геосистемах. М.: ГЕОС. 20132. С. 46-53

5 https://geektimes.ru/post/250986/

6 https://en.wikipedia.org/wiki/Gulf_Stream

7 https://www.iksinfo.ru/stati/nauka-i-tehnika/item/162-golfstrim-ostanovilsja.html

8 Labrador Current // The Editors of Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/place/Labrador-Current

9 David J. R. Thornalley, Delia W. Oppo, Pablo Ortega, Jon I. Robson, Chris M. Brierley, Renee Davis, Ian R. Hall, Paola Moffa-Sanchez, Neil L. Rose, Peter T. Spooner, Igor Yashayaev & Lloyd D. Keigwin // Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years.

Letter| Nature. – 2018. - Vol. 556. – P. 227–230
10 L. Caesar, S. Rahmstorf, A. Robinson, G. Feulner & V. Saba.// Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. Nature volume 556. – P. 191–196. – 2018;
11 Gianluigi Zangari Risk of global climate change by BP oil spill/ Frascati National Laboratories (LNF) - National Institute of Nuclear Physics (INFN) Frascati 00044, Via E. Fermi, 40, ITALY http://www.associazionegeofisica.it/OilSpill.pdf
12https://forummsk.org/material/news/5568482.html
13. K. Ramanujan, Alan D. Buis, S. Hines, J. Goldman // Satellites record weakening North Atlantic current. – 2004 https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0415gyre.html
14 Тарг С. М. Центр инерции (центр масс) // Физическая энциклопедия : [в 5 т.] Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Большая российская энциклопедия. - 1999. -т. 5. – С.692;
15 Справочник «Физические величины». Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова // Раздел "Физика земли" - И.А. Маслов - Москва. Энергоатомиздат, 1991. – С.1234.
16 В.С. АрхипкинВ.С., ДобролюбовС. А. Физические свойства морской воды // Москва. Океанология. - 2005. – С.214;
17 Behringer, D.W., Y. Xue. Evaluation of the global ocean data assimilation system at NCEP: The Pacific Ocean. // Eighth Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface, AMS 84th Annual Meeting, Washington State Convention and Trade Center, Seattle, Washington, - 2004; https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.godas.html
18 Lyubushin A.A. Analysis of coherence in global seismic noise for 1997–2012. // Izvestiya. Physics of the solid Earth. – T. 50. - № 3. –С.325–333;
19 Lyubushin A.A. Global coherence of GPS-measured high-frequency surface tremor motions https://doi.org/10.1007/s1029101807813
20 Tamaz C, Luciano T, Vallianatos F (eds) Complexity of seismic time series: measurement and applications // Elsevier, Amsterdam. – 2018. P.548.
21 https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/

Принятовпечать 16.04.2019

А.В. Виляев, А.П. Стихарный
Институт ионосферы, Алматы, 050020, Казахстан,
e-mail: vilayev@gmail.com

О ВОЗМОЖНОСТИ НАРУШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ЗЕМЛИ ТЕХНОГЕННЫМ ФАКТОРОМ

Аннотация. Рассматривается гипотеза о возможности нарушения динамического равновесия Земли вследствие климатических изменений последних 150 лет и техногенного воздействия на примере катастрофической аварии нефтяной платформы компании British Petroleum в Мексиканском заливе 20 апреля 2010 г. Гипотеза соответствует постулату о неизбежности изменения механизмов взаимодействия различных физических полей вследствие случайных микровоздействий. На основе спутниковых данных показано, что в результате аварии произошло изменение траектории движения течения Гольфстрим, которое привело к изменению температурного режима, солености и плотности, значительных по объему океанических масс. Изменениеплотности океанических масс в локальных областях могло вызвать смещение центра масс Земли на 10^{-4} м и отклонение оси ее вращения на $3.4 \cdot 10^{-6}$ ас. Показано, что процесс нарушения динамического равновесия Земли может сопровождаться возрастанием количества относительно слабых землетрясений (в диапазоне магнитуд 4.2-4.8 на 41.5%) и интенсивности сейсмического шума (тремора) по данным сетей широкополосных сейсмостанций и спутниковой GPS навигации. При этом суммарная величина выделяющейся сейсмической энергии остается практически неизменной. Авторы проводят обоснование сформулированной гипотезы с использованием эмпирических данных, математической модели и расчетов.

Ключевые слова: гипотеза, динамическое равновесие Земли, течение Гольфстрим, техногенный фактор, сейсмичность.

A.V. Vilayev, A.P. Stikharny
Institute of Ionosphere, Almaty, 050020, Kazakhstan,
e-mail: vilayev@gmail.com

ON THE POSSIBILITY OF DISTURBANCE FOR DYNAMIC BALANCE OF EARTH BY TECHNOGENIC FACTOR

Abstract. The hypothesis about the possible disturbance for Earth's dynamic balance due to climate changes of the last 150 years and technogenic impact is considered on the example of the catastrophic accident of the British Petroleum oil platform in the Gulf of Mexico on April 20, 2010. The hypothesis corresponds to the postulate about the inevitability of changes in the interaction mechanisms of various physical fields due to random microeffects. Based on satellite data, it was shown that the accident caused a change in the trajectory of the Gulf Stream flow, which led to a change in temperature, salinity and density of significant ocean masses. A change in the density of ocean masses in some areas could cause a shift of the center of mass of the Earth by 10^{-4} m and a deviation of its axis of rotation by $3.4 \cdot 10^{-6}$ ac. It is shown that the process of disturbance the Earth's dynamic balance can be accompanied by an increase in the number of relatively weak earthquakes (in the range of magnitudes 4.2–4.8 by 41.5%) and the intensity of seismic noise (tremor) according to the data of broadband seismic networks and satellite GPS navigation. At the same time, the total value of the seismic energy released remains almost unchanged. The authors substantiate the formulated hypothesis using empirical data, a mathematical model, and calculations.

Keywords: hypothesis, dynamic balance of Earth, Gulf Stream current, anthropogenic factor, seismicity.

А.В. Виляев, А.П. Стихарный
Ионосфера институты, Алматы, 050020, Қазақстан,
e-mail: vilayev@gmail.com

ЖЕРДІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ ТЕҢГЕРІМІН ТЕХНОГЕНДІК ФАКТОРМЕН БҰЗУ МҮМКІНДІГІ ТУРАЛЫ

Аннотация. 2010 жылдың 20 сәуірінде Мексика шығанағындағы Бритиш Петролеум мұнай платформасындағы апатты жағдайдың мысалында соңғы 150 жылдағы климаттың өзгеруіне және техногендік әсерге байланысты Жердің динамикалық тепе-теңдігінің ықтимал бұзылуы туралы гипотеза қарастырылған.Гипотеза кездейсоқ микроэффекттерге байланысты түрлі физикалық өрістердің өзара әрекеттесу механизмдеріндегі өзгерістердің сөзсіздігіне сәйкес келеді.Спутниктік деректер аварияның салдарынан Гольфстрим ағынының бағыты өзгергенін көрсетті. Бұл мұхит массасының үлкен көлемінің температурасын, тұздылығын және тығыздығын өзгертуге әкелді. Жергілікті жерлерде мұхит массасының тығыздығының өзгеруі Жер массасының орталығында 10^{-4} м және айналу осінің ауытқуы $3.4{\cdot}10^{-6}$ ас болуы мүмкін. Сейсмикалық станциялар мен спутниктік GPS навигациясы бойынша Жердің динамикалық теңгеріміндегі өзгеріс нөлдік жер сілкіністердің 41.5% -ға ұлғаюымен және сейсмикалық шудың артуымен бірге жүруі мүмкін екендігі көрсетілген. Бұл жағдайда шығарылатын сейсмикалық энергияның жалпы құны іс жүзінде өзгермейді. Авторлар эмпирикалық деректерді, математикалық модельді және есептеулерді қолдану арқылы тұжырымдалған гипотезаны дәлелдейді.

Түйін сөздер: гипотеза, Жердің динамикалық тепе-теңдігі, Гольфстрим ағыны, техногендік фактор, сейсмикалылық.

ҒТАМР 29.27.47

Г.Н. Шынықұлова, Қ.Е. Нұрғалиева
Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

МАКСВЕЛЛДІК ЕМЕС ЭЛЕКТРОНДАР БАР БОЛҒАН КЕЗДЕ ИОНОСФЕРА БИІКТІКТЕРІНДЕ ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТІҢ ЗАРЯДТАЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Ұсынылып отырған жұмыста максвеллдік емес электрондары бар ионосферада мезосфера биіктігінде тозаңды бөлшектің зарядталуы зерттелген. Ортаның тепе-теңсіз болуы радиоқыздырғыш стендтің жұмысы салдырынан болып тұр. Электрондардың жылдамдықтар бойынша үлестірілуі ретінде k-үлестірілуі қолданылған. Есептеулер 85-95 км биіктігіндегі ионосфералық плазма үшін 150° К температурада жүргізілді, электрондар мен иондар концентрациясы 10^{10} м$^{-3}$ деп алынды. Барлық тозаңдық бөлшектер біртекті және бәрінің өлшемдері бірдей және 10 нм құрайды деп есептелінді. Тозаңды бөлшектердің зарядталуын модельдеу үшін OML (Orbit Motion Limited) теориясы қолданылды. Тепе-теңсіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектің өлшемсіздірілген потенциалының тепе-теңдіктегі плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектің өлшемсіздірілген потенциалына қатынасы есептелінді. Тепе-теңсіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектің бет потенциалының тепе-теңдіктегі плазмалық ортасындағы жағдайдан бірнеше есе көп екндігі анықталды және ионосфералық газдың иондық құрылымына байланысты болатыны көрсетілді. Бет потенциалының тепе-теңсіз және тепе-теңдіктегі орта арасындағы айырмашылық температура өскен сайын кемитіні де байқалды.

Түйін сөздер: мезосфера, ионосфера, тозаңды плазма, максвеллдік үлестірілу, максвеллдік емес үлестірілу, каппа үлестірілу.

Кіріспе

Жер атмосферасына күнделікті ғарыш кеңістігінен 40 тоннадай тозаңды бөлшек енеді, олардың көбі метеор бөлшектерінің қалдығы. Жер атмосферасына енген метеор бөлшектер тежеліп, 70-120 км биіктікте жанады, нәтижесінде метеор заттардың буы конденсацияланады және ұсақ дисперсті нанобөлшектер құрайды. Өрт немесе жанартау атқылауы нәтижесінде де төменгі атмосферадан нанобөлшектер жетуі мүмкін. 80-95 км биіктікте субмикронды және нано өлшердегі бөлшектердің концентрациясының басым бөлігі шоғырланып, тозаңды қабат түзеді[1-2]. Мамыр айының аяғы мен тамыз айының соңына дейін бақыланатын полярлық мезосфералық құбылыстар – «күмістелген бұлттар» мен «полярлық мезосфералық радиошағылулар» табиғаты осы тозаңды қабаттың түзілуіне байланысты. «Күмістелген бұлттар» 80-85 км биіктікте байқалады және оларды күн батқаннан кейін көруге болады, ал «полярлық мезосфералық радиошағылулар» жиілігі 50-1000 МГц болатын радарлардан 85-95 км биіктікте елеулі радио шағылулар арқылы білінеді [1-2].

Жазғы полярлық мезосфера уақытында ауа температурасы 150 К-ге дейін төмендейді, осы биіктіктерде су буы қаныққан күйіне жетеді. Белгілі бір мөлшерге дейін өскен тозаңды бөлшектер өзі шоғырланған жерде иондалу сипатын анықтайды [1-2].

Метеорлардың иондалған іздері бар екендігін [3-4] жұмыстарында алғашқы рет көрсетілген. Бірақ мезосфералық тозаңдық плазманың пайда болуы және динамикасын зерттеу облыстары, жерден, спутниктен және ракеталық өлшеулер арқылы тек өткен ғасырда басталған [5-13].

Тозаңдық мезосфералық плазманың қасиеттерін зерттеуге байланысты ғылыми қызығушылықтың жоғары екендігін атап өту керек. Осылайша, мезосфераның биіктіктеріндегі тозаң қабатын зерттеудің негізгі бағыттарының бірі антропогендік факторларға тәуелді.Соңғы 100 жыл ішінде мезосфералық бұлттың ұлғаюы, жоғарыда аталған құбылыстар мен климаттың жаһандық өзгерістері арасындағы байланыстың болуы мүмкін деген болжамдар келтірілген [14-17]. Зарядталған тозаңды бөлшектер ионосфералық плазмадағы физика-химиялық процестерге айтарлықтай, кейбір жағдайда олардың рөлі алдыңғы қатарға шығады [18-19]. Осыған орай, AIM 2007 жылдың сәуір айында полярлық мезосфералық бұлтты зерттеуге бағытталған бірінші ғарыш миссиясы іске қосылды[20]. Сонымен қатар, [21] жұмыста метеорлы тозаңбөлшектері спрайттардың пайда болу физикасына дақатысады деп айтылған. Сондай-ақ, тозаңның соқтығысу жиілігіне және өткізгіштігіне әсері,100-120 км биіктіктегі ток өткізу қабатына да, сайып келгенде, ионосфераның динамикасына да әсер етеді [22].

Негізгі бөлім және нәтижелерді саралау

Бүгінгі таңда радиоқыздырушы стендтерде орындалған жұмыстар [20]. Ұсынылып отырған жұмыста біз есептеулерді 85 км биіктікте 150°К температурада және электрон мен ион концентрациясы 10^{10} $м^{-3}$ ионосфералық плазма үшін жүргізілді. Бірдей өлшемді және тозаңды бөлшектердің бәрі шамамен 10 нм құрайды деп есептелінді.

Газды плазма ішіндегі тозаңды бөлшектердің зарядталуының сандық сипаттамасын алу үшін, әдетте, плазмадағы электрлік зондтардың теориясына негізделген теориялық модельдер қолданылады. Ең жиі қолданылатын модельдердің бірі - шектеулі орбиталық қозғалыстар (орбиталық қозғалыстың шектеулі (OML) теориясы) [25].

Әдетте, бұл жуықтаудың қолданылу шарттары, $a \ll \lambda_D \ll \ell_{i(e)}$мұндағы a - тозаң бөлшегінің өлшемі, барлық бөлшектердің өлшемі бірдей және сфералық деп тұжырымдалған,λ_D - Дебай радиусы, $\ell_{i(e)}$ – орташа еркін жүру жолы. Бұл тәсіл энергия мен импульс моментінің сақталу заңынан электрон мен иондардың тозаңды плазмада жұтылуының қимасын анықтауға мүмкіндік береді [1, 2, 25]:

$$\sigma_e(v) = \begin{cases} \pi a^2\left(1+\frac{2e\varphi_S}{m_e v^2}\right), \frac{2e\varphi_S}{m_e v^2} > -1 \\ 0, \frac{2e\varphi_S}{m_e v^2} < -1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\sigma_e(v) = \pi a^2\left(1-\frac{2e\varphi_S}{m_i v^2}\right) \quad (2)$$

мұндағы$\sigma_{e(i)}(v)$ - электрондармен иондардың жұтылу қимасы, me(i) — электрондардың (иондардың) массалары, алv – электрондар мен иондардың жылдамдықтары, φ_s– тозаңдық бөлшектер бетінің потенциалы.

Бөлшек бетіне электрондар мен иондар ағыны, сәйкесінше қималары мен жылдамдықтар бойынша үлестірілу функциялар *fe(v)* арқылы анықталады[2]:

$$I_{e(i)} = n_{e(i)} \int v\sigma_{e(i)}(v) f_{e(i)}(v) d^3v \quad (3)$$

мұндағы$n_{e(i)}$– электрондардың (иондардың) концентрациясы[1, 2, 25].

Әдетте, бұл формуладағы жылдамдық бойынша үлестірілуіне Максвелл үлестірілуін қолданады [1, 2, 25]:

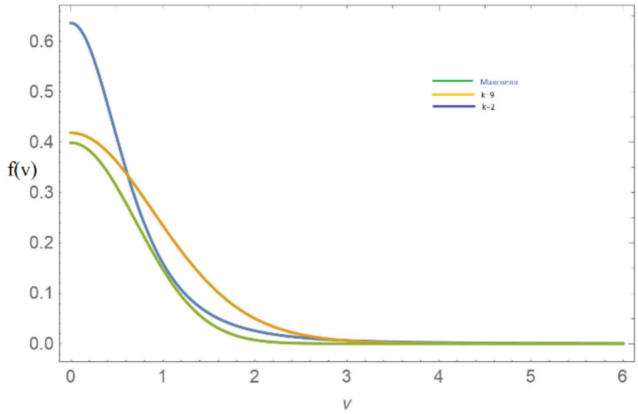
$$f_M(v) = \frac{n}{\sqrt{\left(\frac{2\pi T}{m}\right)^3}} e^{-v^2} \quad (4)$$

Максвеллдік емес плазмадағы тозаң бөлшектерін зарядтау кинетикасын [22-24] қарастыруда. Максвеллдік емес электрондардың үлестірілу функциясы ретінде k - үлестірілуі қолданылады.

$$f_k(v) = \frac{n}{\sqrt{\frac{(2k-3)T}{m}}} \frac{\Gamma(k+1)}{\Gamma\left(k-\frac{1}{2}\right)} (1+v)^{-k-1} \quad (6)$$

мұндағы Г – гамма функциясы, k – каппа үлестірілуі.

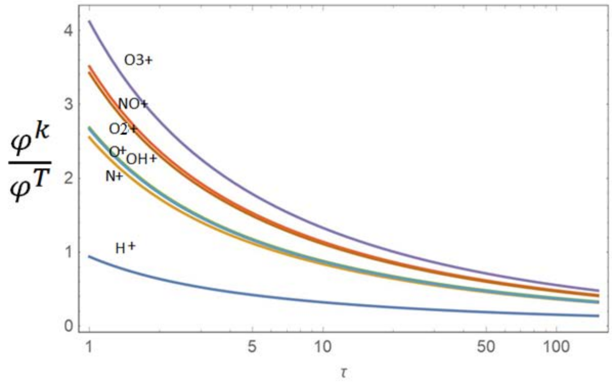
Плазмалық бөлшектердің жылдамдықтар бойынша максвеллдік және максвеллдік емес үлестірілуі бойынша нәтижесі 1-суретте көрсетілген. Максвеллдік үлестірілуде ауытқуды көрсететін каппа 9-ға тең мәні таңдап алынды.



Жасыл – максвеллдік үлестірілу,
көк – каппа үлестірілу, k = 2,
сары – каппа үлестірілу, k = 9

Сурет 1. Плазмалық бөлшектердің жылдамдықтар бойынша максвеллдік және максвеллдік емес үлестірілуі

Тепе-теңдіксіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектердің өлшемсізделген потенциалының тепе-теңдікті ортадағы потенциалға қатынасының электрондар мен иондардың қатынасына тәуелділігі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. Тепе-теңдіксіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектердің өлшемсізделген потенциалының тепе-теңдікті ортадағы потенциалға қатынасының температураға тәуелділігі

1-суретте көрініп тұрғандай, k = 9 максвеллдік үлестіруінде максвеллдік емес үлестірілуге қарағанда айтарлықтай ауытқу бар. 2-суреттен, тепе-теңдіксіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектердің өлшемсізделген потенциалының тепе-теңдікті ортадағы потенциалға қатынасының электрондар мен иондардың қатынасына тәуелділігі бойыншапотенциалдар қатынасының температура қатынастарының өсуімен кемитіндігі,реттік нөмірі өскен сайын өсетіндігі байқалады.

Қорытынды

Сонымен, есептеулер нәтижесінде мынадай қорытынды алынды:

- Тепе-теңдіксіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектердің өлшемсізделген потенциалының тепе-теңдікті ортадағы потенциалға қатынасы электрондар мен иондардың температураларының қатынастары өскен сайын кемиді;
- Тепе-теңдіксіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектердің өлшемсізделген потенциалының тепе-теңдікті ортадағы потенциалға қатынасы мезосфералық компоненттердің реттік нөмірі ұлғайған сайын артады.

Қолданылған әдебиет

1 Попель С. И. Лекции по физике пылевой плазмы, Москва МФТИ – 2012.-с. 110 -112.
2 Фортов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. Пылевая плазма. УФНТом 174, № 5, май 2004 г.стр. 495-544.
3 Skellett A M. The effect of meteors on radio transmission through the Kennelly-heavyside layer//Phys. Rev.- 1931- 37 –p. 1668.
4 Skellett A M 1935 The ionizing effect of meteors // Proc. Inst. Radio Eng.- 1935- 23 – p. 132–249Skellett.
5 Eklund, W.L. and B.B. Balsley, Long-term observations of the Artic mesophere with MST radar at Poker Flat, Alaska// Journal of Geophysic Research – 1981 - 8t –p. 7775.
6 Rottger, J., M. T. Rietveld, C. La Hoz, T. Hall, M. C. Kelley, and W. E. Swartz. Polar mesosphere summer echoes observed with the EISCAT 933-MHz radar and the CUPRI 46.9-MHz radar, their similarity to 224-MHz radar echoes and their relationship to turbulence and electron density profiles// Radio Sci. – 1991 – 25 – p. 671- 687.
7 Cho, J.Y.N., T.M. Hall, and M.C. Kelley, On the role of charged aerosols in polar mesospheric summer echoes// Journal of Geophysic Research -1992- 97 -p 875-886.
8 Kelley, M., and J. Ulwick, Large- and small-scale organization of electrons in the highlatitude mesosphere: Implications of the STATE

data// J. Geophys. Res. – 1988 – 93 – p. 7001-7008.
9. Chilson, P.B., E. Belova, M.T. Rietveld, S. Kirkwood, and U. Hoppe, First artificially induced modulation of PMSE using the EISCAT heating facility// Geophysic Research Letter – 2000- 27 –p. 3801-3804.
10 Belova, E., P.B. Chilson, M. Rapp, and M.T. Rietveld, The response time of PMSE to ionospheric heating// Journal of Geophysic Research 108 (D8), 8446, 2003.
11 Havnes, O., Polar mesospheric Summer Echoes(PMSE) overshoot effect due to cycling of artificial electron heating// Journal of Geophysic Research -2014 – 109 - A02309.
12 Sobyanin D.B., Gavrilov B.G., Podgorny I.M. // Adv.Space Res. 2002. V. 29. P. 1345.
13 Gavrilov B.G., Podgorny I.M., Sobyanin D.B. et al. //J. Spacecraft and Rockets. 2004. V. 41. P. 490.
14 Thomas G E, Olivero J J, DeLand M and Shettle E .P. A response to the article by U. von Zahn, Are noctilucent clouds truly a miner’s canary of global change? //Eos Trans. Am. Geophys. Union -2003 – 84 – p. 352.
15 Roble R G and Dickinson R E How will changes in carbon dioxide and methane modify the mean structure of the mesosphere and thermosphere? //Geophys. Res. Lett. – 1989- 16 – p.1441.
16 Taylor M J, Gadsden M, Lowe R P, Zalcik M S and Brausch J Mesospheric cloud observations at unusually low latitudes//J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. – 2002- 64- p. 991–999.
17 DeLand M T, Shettle E P, Thomas G E and Olivero J J A. A quarter-century of satellite PMC observations //J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.- 2006 – 68, 9–p.29.
18 Havnes O., Aslaksen T., Brattli A. // Physica Scripta. 2001. V. T89. P. 133.
19 Klumov B.A., Popel S.I. Bingham R. // ПисьмавЖЭТФ. 2000. Т. 72. С. 524.
20 W A.Scales and A. Mahmoudian, "Charged dust phenomena in the near-Earth space environment", Rep. Prog. Phys. **79** (2016) 106802 (31pp).
21 Zabotin N A and Wright J W. Role of meteoric dust on sprite formation// Geophys. Res. Lett.-2001- 28 -2593–2599.
22Muralikrishna P and Kulkarni V H. Modeling the meteoric dust effect on the equatorial electrojet// Adv. Space Res. – 2008 – 42, 164–70.
23 S. K. Mishra, Sh.Misra, and M.S.Sodha. “Charging kinetics of dust particles in a non-Maxwellian Lorentzian plasma”, Eur. Phys. J. D (2013) **67**: 210.
24 Nurgaliyeva K.E., Ramazanov T.S., Popel S.I. “The charging of dust particles in ionospheric plasma with non-Maxwellian electrons”, PNP, 24-28 September, (2018), (112).
25 Цытович В.Н. Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака. УФН Январь 1997 г.,Том 167, № 1, стр. 57-99.

14.05.2019 басылымға қабылданды

Г.Н. Шынықұлова, Қ.Е. Нұрғалиева
Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Казахстан

МАКСВЕЛЛДІК ЕМЕС ЭЛЕКТРОНДАР БАР БОЛҒАН КЕЗДЕ ИОНОСФЕРА БИІКТІКТЕРІНДЕ ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТІҢ ЗАРЯДТАЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Ұсынылып отырған жұмыста максвеллдік емес электрондары бар ионосферада мезосфера биіктігінде тозаңды бөлшектің зарядталуы зерттелген. Ортаның тепе-теңсіз болуы радиоқыздырғыш стендтің жұмысы салдырынан болып тұр. Электрондардың жылдамдықтар бойынша үлестірілуі ретінде k-үлестірілуі қолданылған. Есептеулер 85-95 км биіктігіндегі ионосфералық плазма үшін 150° К температурада жүргізілді, электрондар мен иондар концентрациясы 10^{10} $м^{-3}$ деп алынды. Барлық тозаңдық бөлшектер біртекті және бәрінің өлшемдері бірдей және 10 нм құрайды деп есептелінді. Тозаңды бөлшектердің зарядталуын модельдеу үшін OML (Orbit Motion Limited) теориясы қолданылды. Тепе-теңсіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектің өлшемсіздірілген потенциалының тепе-теңдіктегі плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектің өлшемсіздірілген потенциалына қатынасы есептелінді. Тепе-теңсіз плазмалық ортадағы тозаңды бөлшектің бет потенциалының тепе-

теңдіктегі плазмалық ортасындағы жағдайдан бірнеше есе көп екндігі анықталды және ионосфералық газдың иондық құрылымына байланысты болатыны көрсетілді. Бет потенциалының тепе-теңсіз және тепе-теңдіктегі орта арасындағы айырмашылық температура өскен сайын кемитіні де байқалды.

Түйін сөздер: мезосфера, ионосфера, тозаңды плазма, максвеллдік үлестірілу, максвеллдік емес үлестірілу, каппа үлестірілу

Г.Н. Шиникулова, Қ.Е. Нұрғалиева
КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

ОСОБЕННОСТИ ЗАРЯДКИ ПЫЛЕВОЙ ЧАСТИЦЫ НА ИОНОСФЕРНЫХ ВЫСОТАХ ПРИ НАЛИЧИИ НЕМАКСВЕЛЛОВСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ

Аннотация. В данной работе исследованы особенности зарядки пылевой частицы на высотах мезосферы, после воздействия на нее радионагревным стендом. Этим обусловлено наличие немаксвелловских электронов в составе ионосферного газа на мезосферных высотах. В качестве распределения электронов по скоростям использовано k-распределение при параметре k = 9. Расчеты проводились для ионосферной плазмы на высоте 85-95 км при температуре 150°К и концентрации электронов и ионов 10^{10} м$^{-3}$. Все пылевые частицы берутся одного размера и их размер составляет около 10 нм. Для моделирования зарядки пылевой частицы использована теория ограниченного орбитального движения OML (Orbit Motion Limited). Была рассчитана зависимость отношения обезразмеренного потенциала пылевой частицы в неравновесной плазменной среде к потенциалу частицы в равновесной среде. Было установлено, что поверхностный потенциал пылевой частицы в неравновесной плазменной среде в несколько раз превышает потенциал частицы в равновесной среде и зависит от ионного состава ионосферного газа, но это отношение уменьшается с увеливением температуры.

Ключевые слова: мезосфера, ионосфера, пылевая плазма, максвелловское распределение, немаксвелловское распределение, каппа распределение, теория ограниченного орбитального движения.

G.N. Shinikulova, K.E. Nurgaliyeva
al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

THE PECULIARITIES OF DUST PARTICLES CHARGING AT IONOSPHERE HEIGHTS AT THE PRESENTS OF NON-MAXWELLIAN ELECTRONS

Abstract. In this paper, the dust particles charging peculiarities in the presence of non-Maxwellian electrons at the heights of the ionosphere was investigated. The existence of non-Maxwellian electrons caused by heating stands. The kappa distribution was taken as non-Maxwellian distribution at k=9. The calculations were carried out for ionospheric plasma at the heights 85-90 km, a temperature of 150° K, and an electron and ion concentration of 10^{10} m^{-3}. All dust particles are considered of the same size and are about 10 nm. The OML theory was used as model of the charging of dust particles. The ratio of dust surface potential in non-equilibrium plasma medium to dust surface potential in equilibrium plasma medium was calculated. It was established that the dust surface potential in non-equilibrium plasma exceeds for many times the surface potential in equilibrium plasma medium and depend on plasma ions composition but with the raising of temperature this ratio decreases.

Keywords: mesosphere, ionosphere, dusty plasma, Maxwell distribution, non-Maxwell distribution, kappa distribution

ДЛЯ АВТОРОВ

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

«Журнал ПЭОС» публикует статьи, посвященные:

1. развитию*подходов к изучению любых открытых систем;*
2. описанию законов динамики взаимодействующих элементов систем;
3. определению характера внешних ограничений, накладываемых на эволюционирующие системы законами их развития;
4. исследованию процессов структурообразования в больших системах, изучаемыми различными разделами науки (физикой, химией, биологией, космологией, геофизикой, медициной, экологией, экономикой, социологией и в целом философией);
5. исследованию механизмов взаимодействия в различных средах: космическом пространстве, окружающей среде, внутренних средах организма, в растворах и т.п.;
6. рассмотрению роли неравновесности и синергетических эффектов в формировании любых иерархических систем и в их эволюционном развитии;
7. любым аспектам прикладного использования теоретических результатов, получаемых при изучении фундаментальных основ открытых систем.

Журнал выходит два раза в год и рекомендован для представления к защите диссертаций в Республике Казахстан

ЖУРНАЛ ПРИНИМАЕТ РУКОПИСИ ПРИ СЛЕДУЮЩИХ УСЛОВИЯХ!

- При наличии: рефератов на русском, английском и для жителей РК на казахском языках(объем рефератов не менее 150 слов); рецензии специалиста, работающего в соответствующей области, имеющего академическую степень
- В рецензии обязательно освещать вопросы актуальности, соответствия цели тематике журнала, новизны, значимость результатов для фундаментальной или прикладной науки.
- Работы, носящие фундаментальный или обзорный характер в объеме не более 45 страниц формата А4.
- Работы прикладного характера не более 25 страниц формата А4.
- Статьи могут быть написаны на казахском, русском или английском языках.

Статьи не соответствующие тематике журнала, оформленные не по правилам и не имеющие рецензии не принимаются к публикации и не возвращаются авторам. Редакция оставляет за собой право на отклонение статьи.

СТАТЬИ ВЫСЫЛАТЬ В ЭЛЕКТРОННОМ ВАРИАНТЕ ПО АДРЕСУ

представленному на титульной странице с припиской «статья для публикации в ПЭОС».

Телефоны для справок и переговоров:

Нұрғалиева Құралай (сот.8 707 828 90 10),

Сомсиков Вячеслав Михайлович - 8 727-272-78-25 (сот. 8 7017605378)

ПРОСИМ ВАС НАПРАВЛЯТЬ НАМ РУКОПИСИ ВАШИХ СТАТЕЙ, ОФОРМЛЕННЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С НИЖЕ УКАЗАННЫМИ ПРАВИЛАМИ !

Статья должна быть набрана на компьютере вMS Word, предоставлена на дискете или выслана по электронной почте.
Поля: верхнее-2, нижнее-2, левое-2, правое 2
Нумерация страниц по центру снизу

ШАПКА через 1 интервал *12 кеглем***:**
1. МРНТИ расположено слева
2. **Инициалы и фамилия жирным шрифтом,** строчными полужирными буквами.
3. *Название института, города, страны* курсивом, строчными буквами
4. Пробел
5. **НАЗВАНИЕ СТАТЬИ** полужирными прописными буквами

один пробел
Аннотация. на языке статьи**:**11 кегль,абзацный отступ 1 и через 1 интервал (объем не менее 150 слов); (Қазақша **– Аннотация,** inEnglish - **Abstract**)
Ключевые слова: на языке статьи **:**11 кегль,абзацный отступ 1 и через 1 интервал один пробел (Қазақша **– Түйін сөздер,** inEnglish - **Keywords**).

ТЕКСТ СТАТЬИв две колонки интервал между ними 0,6 см;12кегль,абзацный отступ стандартный и через 1 интервал
<u>Номера цитируемой литературы</u> в квадратных скобках **[]**
<u>Номера формул</u>справа и прижаты к правому краю в круглых скобках (), ссылки на них в тексте также в круглых скобках ()
<u>Ссылки на таблицы или рисунки</u> полностью словом с номером (таблица 1, рисунок 1) или сокращенно только в круглых скобках (Табл. 1), (Рис. 1)
<u>набор формул</u>– в редакторе формул MathType.

Подзаголовки прижаты к левому краю, полужирным шрифтом,12 кеглем, со стандартнымабзацным отступом. Перед подзаголовком одна строка пропуска. После него текст раздела идет сразу.После подзаголовка точка не ставиться

Рисунки все в Word с одним отступом после и до рисунка. Подпись снизу по центру через 1 интервал, прижата к рисунку и начинается словами Рисунок 1 –Рисунки представляются вставленными в текст и в виде отдельных файлов (см. пример). (Қазақша: 1 – сурет. Суреттің аты**,** in English: Figure 1 –The title of figure)

Таблицы через 1 интервал, 12 кеглем, столбики центрированы. Подпись таблицы сверху, прижата к левому полю и начинается словами Таблица 1 – .(см. пример),(Қазақша: 1 – кесте. Кестенің аты**,** inEnglish: Table 1 –Thetitleoftable)

Рисунки итаблицы, если они не входят в размер одной колонки могут выноситься **в Приложение**, которое следует за списком литературы. Оформление их идет по выше описанным правилам, но они могут располагаться как в вертикальном, так и в горизонтальном положении.

Литература 12 кегль через 1 интервал, нумерация списка без точек и номер идет со стандартным абзацным отступом (см. пример) и в конце абзаца ставиться точка (см. пример)

Реферат на английском (для всех) **и казахском (**для **жителей Республики Казахстан)**
Оформление смотри пример

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ И РЕФЕРАТОВ

Статьи

МРНТИ 550.36+577.31

З.Ж. Жанабаев, С.А. Хохлов*, А. Т. Агишев
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, 050040, Казахстан
**E-mail: serik-kz88@mail.ru*

НОРМИРОВАННАЯ ЭНТРОПИЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД

Аннотация. В представленной работе показана возможность классификации горячих звезд по спектрам, согласно их нелинейным (энтропийным и обобщенно-метрическим) характеристикам. Получены алгоритмы и методика определения информационной энтропии по наблюдаемым спектрам.В работе ставилась задача описать количественно спектры различных типов на основе информационно – энтропийного анализа. Для исследования были выбраны звезды главной последовательности и горячие звезды типа FSCMa (двойные системы). Ставился вопрос о количественном описании различия спектров выбранных звезд. Такой метод количественной оценки применялся в различных исследованиях по нормальным звездам. Однако существует ряд алгоритмических проблем, которые мы приведем применительно к решению данной задачи. В результате была построена зависимость нормированной информационной энтропии спектров от соответствующих значений метрической характеристики. Нормированная энтропия звезд типа FSCMa принадлежит области самоподобия и самоаффиности, эти объекты самоорганизованы и имеют сложную, хаотическую структурированность. По физической сути двойные системы должны относиться к самоорганизованным системам, что соответствует предлагаемой теоретической классификации. Таким образом, результаты настоящей работы показывают, что информационно-энтропийный анализ и расчет обобщённо – метрической характеристики для спектров дает возможность количественно классифицировать горячие звезды.

Ключевые слова: Информация, энтропия, горячие звезды, метрика – топологические характеристики.

Введение

На протяжении более ста лет, энтропия является ключевой величиной не только для неравновесной статистической физики и термодинамики, но для естествознания в целом. Оно имеет первостепенное значение при обсуждении вопросов порядка и хаоса в природе, происхождения и передачи информации, проблем необратимости и т.д. [1-5]. Однако в настоящее время практически не существует количественных расчетов энтропии для астрофизических объектов, и в редких только случаях для хорошо изученных объектов, как звезды [6-10] рассчитывается энтропия Больцмана. При этом, очевидно, что учет неравновес-ности системы чрезвычайно важно для понимания физики окружающего нас мира. И так как звезды являются наиболее распространенными объектами во Вселенной, которые составляют более 97% от массы всего видимого вещества, необходимо понять, как зависит энтропия от типа звезд. Однако на этот вопрос в современной литературе ответа нет. Таким образом, не было произведено количественного анализа энтропии для наиболее важных и распространенных объектов во Вселенной. Поэтому целью данной работы было описать количественно спектры горячих звезд различных типов на основе информационно – энтропийного анализа.

Информационно – энтропийные характеристики сигналов

Обычно определение сложного понятия формируется через перечень его основных свойств. Информация $I(x)$ статистической реализации некоторой физической величины x является положительной величиной и определена при наличии неравновесности $I(x) \neq I(x_0)$, если $x \neq x_0$. Если $P(x)$ является вероятностью появления величины x, то выражение для количества информации

$$I(x) = -\ln P(x) \qquad (1)$$

Информационная энтропия или энтропия Шеннона S(x) может быть определена как среднее значение информации:

$$S(x) = \sum_i P_i(x) I_i(x) = -\sum_i P_i(x) \ln P_i(x) \qquad (2)$$

где, i – номер ячеек разбиения множества значений x.

……………………………………..

Задавая условия для выбора параметров $p,\ q$ можно использовать $K^{p,\ q}_{x_i,\ x_j}$ для описания фрактальных сигналов. Если D – фрактальная размерность кривой x(t), то мы можем принять $p = D,\ q = D/(D-1)$. Принимая $x_i = x(t),\ x_j = t$перепишем (11) в следующем виде

$$K^{D,\ q}_{x,\ t} = \frac{(\langle |x|^D \rangle)^{1/D} \cdot (\langle |t|^q \rangle)^{1/q}}{\langle |x \cdot t| \rangle},$$
$$q = D/(D-1) \qquad (12)$$

………………………………………….

В таком случае, нетрудно убедиться в том, что элементы набора I можно вычислить по формуле:

$$I = I_1 + (I_2 - 1) * n_1 \qquad (9)$$

гдеn_1- количество ячеек первой характеристики, в нашем примере оно равно 3. С помощью таблицы 1 хорошо демонстрируется логика работы выражения (9)

Таблица 1. – Логика работы алгоритма $I = I_1 + (I_2 - 1) * n_1$

Последовательность	I_1	I_2	Номера ячеек в I
11	1	1	1+(1-1)*3=1
21	2	1	2+(1-1)*3=2
31	3	1	3+(1-1)*3=3
12	1	2	1+(2-1)*3=4
22	2	2	2+(2-1)*3=5
32	3	2	3+(2-1)*3=6

…………………………………………………

Экспериментальные измерения показали, что при…… на рисунке 6 приведены временные реализации обоих режимов бифуркации Хопфа, полученные из эксперимента при R=1 кОм и C=1 нФ, которые показывают, что выводы теории в данном случае подтверждаются физическим экспе-риментом.

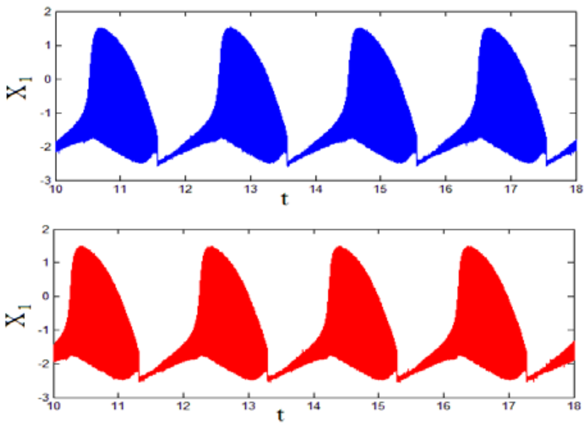


Рисунок6– Временные реализации быстрого (верхняя кривая) и медленного (нижняя кривая) режимов при R=200 кОм и C=100 нФ, полученные из эксперимента.

Такое «странное» поведение системы в эксперименте объясняется тем, что большое значение RC параметра уменьшает амплитуду сигнала на выходе интегратора. Соответственно, амплитуда шума и соизмеримыми, что уменьшает точность полезного сигнала оказываются вычислений.

Действительно, дополнительные численные исследования показали, что режим «birsting» также можно получить при численном интегрировании уравнений (1), если уменьшать точность вычислений. На рисунке 7 показан результат численного интегрирования при точности 0,001, а на рисунке 8 показан результат численного интегрирования при точности 0,00001.

………………………………………..

Заключение

Большие значения параметра RC аналогового интегратора, используемого в эксперименте, способствуют понижению точности измерений значений сигналов. Данный вывод подтверждается резуль-татами численных решений системы уравнений (1), проведенных с различными точностями интегрирования. В итоге видим, что физический эксперимент пол-ностью подтверждает выводы теории, т.е. экспериментально обнаружено рождение двухчастотной бифуркации Хопфа в кластере связанных автоколебательных систем.

Списоклитературы

1 Prigogine I. From the being to becoming//M.–1980.–343, 342 p.

4 Лоскутов А.Ю., МихайловА.С.Введение в синергетику // М.– Наука.– 1990.– 272 с.

6SomsikovV.M. The equilibration of an hard-disks system// November. V.14, №11. IJBC.– 2004.–P. 4027 - 4033.

7Сомсиков В.М. О принципах построения механики структурированных частиц на основе механики материальной точки// Журнал ПЭОС.–2010.–Вып.12, Т.2.–С.3-17.

9AndersonP.W. MoreIsDifferent. Science // New Series, Vol. 177, No. 4047. (Aug. 4, 1972), pp. 393-396

Приложение 1

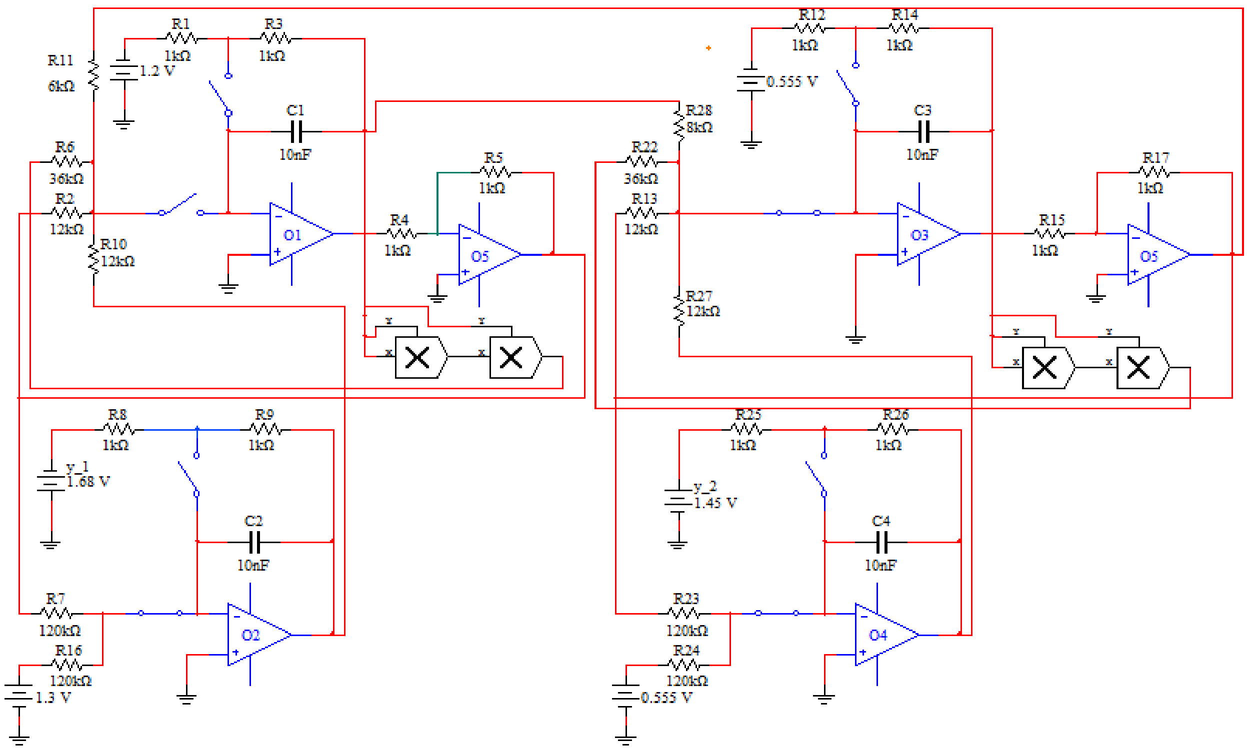


Рисунок 1– Модель схемы в «Multisim», решающая уравнения динамики кластера, состоящего из двух связанных автоколебательных систем.

Таблица 6. Массы аэрозолей, химических веществ и энергия акустического излучения, инжектированных в атмосферу в ходе катастрофы под Мелитополем (площадь города около 30 км^2), и их сравнение с фоновыми значениями

Вещество (излучение)	Инжектируемая масса (мощность)	Фоновое значение в атмосфере над Мелитополем	Фоновое значение в атмосфере над Украиной	Фоновое значение во всей атмосфере
Аэрозоли (пыль)	0,1 – 1 кт	3 – 15 т	60 – 300 кт	50 – 250 Мт
Аэрозоли (дым)	1 кт	330 кг	6 – 7 кт	5,5 Мт
Двуокись углерода	35 кт	180 кт	3,6 Гт	3 Тт

Рефератов

Г.К.Мусабек [1,2],К.К. Диханбаев [1,2],В. А. Сиваков[3],Д. Ермухамед [1,2],
А.С.Курмаш [1,2], Т.И.Таурбаев [1], А.С. Джунусбеков [1], Ш.Б.Байганатова [1]
[1]*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,*
[2]*Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, Алматы, Казахстан,*
[3]*Лейбниц Институт фотонных технологий, Йена, Германия*
Gauhar.Musabek@kaznu.kz

ВТОРИЧНАЯ ИОННАЯ МАСС СПЕКТРОСКОПИЯ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ФОСФОРОМ

Аннотация. В настоящей работе представленны результаты исследований кремниевых нанонитей, легированных фосфором методом термодиффузии, с помощью вторичной ионной масс спектроскопии. Кремниевые нанонити были выращены на поверхности монокристаллических кремниевых пластин с полированной и шлифованной поверхностьюметодом металл стимуллированного химического травления.Легирования нанонитей атомами фосфора происходило при температурах 900 – 980^{0}С в течение 15-40 минут. С помощью вторичной ионной масс спектроскопии исследованно распространение атомов фосфора по глубине нанонитей, рассчитаны динамические профили распределения примеси в образцах, полученных на полированной и шлифованной поверхности кремниевых пластин. В результате анализа динамических профилей вторичной ионной масс спектроскопии для распределения соединений Si-P в образцах легированных кремниевых нанонитей было выявлено, что максимальная концентрация атомов фосфора в таких образцах локализована преимущественно в наноструктурированном слое, а в слой объемного кремния дифундирует очень малое количество. Оценочная глубина залегания легирующей примеси в кремниевые нанонитей составляет около 1300 нм.

Ключевые слова: кремниевые нанонити, легирование фосфором, термодиффузия, вторичная ионная масс спектроскопия.

Г.Қ.Мұсабек Г.Қ. [1,2],К.К. Диханбаев [1,2],В. А. Сиваков[3], Д.Ермұхамед [1,2],
А.С.Құрмаш [1,2],Т.И. Таурбаев [1], А.С. Джунусбеков [1], Ш.Б.Байғанатова [1]
[1]*әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,*
[2]*Ашық типтегі Ұлттық нанотехнологиялық лабораториясы, Алматы, Қазақстан,*
[3]*Лейбниц Фотондық технологиялар институты, Йена, Германия,*
Gauhar.Musabek@kaznu.kz

ФОСФОРМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН КРЕМНИЙ НАНОТАЛШЫҚТАРЫНЫҢ ЕКІНШІ РЕТТІК ИОНДЫҚ МАСС СПЕКТРОСКОПИЯСЫ

Аннотация. Берілген жұмыста термодиффузия әдісін қолданып фосфор атомдарымен легирленген кремний наноталшықтарын екінші реттік иондық массспектроскопия әдісімен зерттеу нәтижелері келтірілген. Кремний наноталшықтары беті жылтыратылған және тегістелген монокристалды кремний пластиналарынның бетінде металл енгізілген химиялық жеміру әдісімен қалыптастырылған. Кремний наноқұрылымдарын фосфор атомдарымен легирлеу 900 - 980 ^{0}С температурада 15 - 40 минут бойы жүзеге асты. Екінші реттік иондық масс спектроскопиясының көмегімен фосфор атомдарының жылдырлатылған және тегістелген беттерде қалыптысқан наноталшықтардың қалыңдығы бойынша таралуы зерттелініп, үлестірілуінің динамикалық профильдері есептелінген. Екінші реттік иондық масс спектроскопиясының P-Si қосылыстарының үлестірілуінің динамикалық профильдерін талдау нәтижесінде фосфор атомдарының максимальді концентрациясы негізінен наноқұрылымды қабаттқа енетіні және көлемдік кремнийге аз таралатындығы анықталған.

Зерттеулер нәтижесінде берілген кремний наноталшықтары үлгілері үшін легирлеуші қомпа атомдарының диффузиялық енуінің тереңдігі шамамен 1300 нм тең деп бағаланған.

Түйін сөздер: Кремний наноталшықтары, фосфордың диффузиясы, термодиффузия, екінші реттік иондық масс спектроскопиясы.

G.K.Mussabek [1,2],K.K. Dikhanbayev [1,2], V.A.Sivakov [3],D. Yermukhamed [1,2], Kurmash A.S.[1,2], T.I.Taurbayev [1], A.S.Dzhunusbekov [1], Sh.B.Bainatova [1]

[1]*al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,*

[2]*National nanotechnological laboratory of open type, Almaty, Kazakhstan,*

[3]*Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, Germany,*

Gauhar.Musabek@kaznu.kz

SECONDARY ION MASS SPECTROSCOPY OF PHOSPHORUS DOPED SILICON NANOWIRES

Abstract. We present the results of secondary ion mass spectroscopy studies of silicon nanowires doped with phosphorus by thermal diffusion. First, silicon nanowires were grown on the surface of single-crystal silicon wafers with a polished and ground surface using method of metal-assisted chemical etching. Doping of nanowires with phosphorus atoms by thermo diffusion method occurred at temperatures of 900-980 ° C during 15-40 minutes. Secondary ion mass spectroscopy was used to study the distribution of phosphorus atoms over the depth of nanowires, impurity distribution dynamic profiles were calculated for the samples obtained on the polished and ground surfaces of silicon wafers. Analysis of the dynamic profiles of the secondary ion mass spectroscopy for the distribution of Si-P compounds in samples of doped silicon nanowires revealed that the maximum concentration of phosphorus atoms in such samples is localized predominantly in the nanostructured layer, and a very small amount diffuses into the bulk silicon layer. The estimated depth of occurrence of the dopant in silicon nanowires is about 1300 nm.

Keywords: silicon nanowires, phosphorus doping, thermal diffusion, secondary ionic mass spectroscopy.

Журнал проблем эволюции открытых систем
(Журнал ПЭОС)
ISBN 9965-01-766-2

ИБ №13039
Подписано в печать 04.07.2019. Формат 60х84 1/8. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Объем 11,8 п.л. Тираж 25 экз. Заказ №5511.
Издательский дом «Қазақ университеті»
Казахского национального университета им. аль-Фараби.
050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71. КазНУ.
Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті».
Изготовлено по заказу
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ (ДГП)
КазНУ им. аль-Фараби